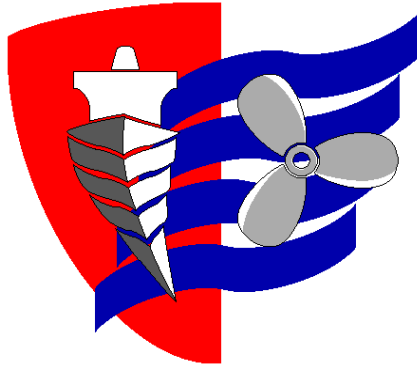


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo fin de Máster

***Estudio sobre la situación actual del
metanol como combustible en la
industria marina***

***Study on the current situation of
methanol as fuel in the marine
industry***

Para acceder al Título de Máster Universitario en

INGENIERÍA MARINA

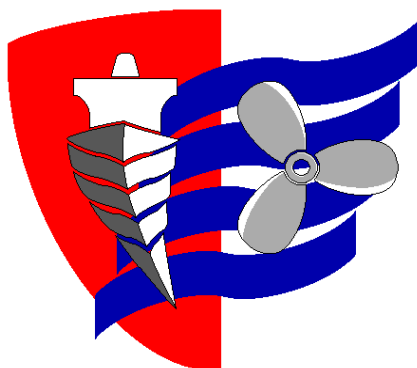
Autor: Álvaro Argüelles Alonso

Director: Don Alfredo Girón Portilla

Junio - 2021

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo fin de Máster

***Estudio sobre la situación actual del
metanol como combustible en la
industria marina***

***Study on the current situation of
methanol as fuel in the marine
industry***

Para acceder al Título de Máster Universitario en

INGENIERÍA MARINA

Junio - 2021

ÍNDICE

Palabras clave	8
Resumen	8
Keywords.....	9
Summary	9
Destinatario.....	10
Listado de abreviaturas.....	10
Definiciones.....	12
Indice de figuras.....	13
1 Introducción.....	14
1.1 Antecedentes	14
1.2 Naturaleza del trabajo y contexto técnico.....	16
1.3 Justificación y objetivos	17
1.4 Relevancia	18
2 Memoria descriptiva	18
2.1 Planteamiento del problema	18
2.2 Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL)	19
2.2.1 Anexo VI MARPOL 73/78	19
2.2.1.1 Óxidos de nitrógeno.....	20
2.2.1.2 Óxidos de azufre	21
2.2.1.3 Zonas ECA.....	22
2.2.1.4 Índices De Eficiencia Energética.....	22
2.2.1.4.1 Índice De Diseño De Eficiencia Energética (EEDI) Para Los Buques	
Nuevos	23
2.2.1.4.2 Plan De Gestión De La Eficiencia Energética De Los Buques (SEEMP)	
Para Todos Los Buques	23
2.2.1.5 Código internacional de seguridad para buques que utilicen gas u otros	
combustibles de bajo punto de inflamación. Código IGF	24
2.3 Herramientas de resolución.....	25
2.3.1 El metanol.	25
2.3.1.1 Fuentes del metanol	26
2.3.1.2 Manejo del metanol, salud y seguridad.....	28
2.3.1.3 El metanol en la industria marina	30

2.3.1.4	Comparativa metanol/metano como combustibles marinos	32
2.3.1.5	Corrosión y formación de formaldehidos	33
2.4	Metodología.....	34
2.4.1	Análisis de las opciones disponibles	34
2.4.2	Motorizaciones con metanol	35
2.4.2.1	Retrofit en motores de dos tiempos Diesel(MAN B&W)	37
2.4.2.1.1	Sistema de suministro de combustible gaseoso licuado (LFSS).....	40
2.4.2.1.2	Dilución del metanol con agua	41
2.4.2.2	Retrofit en motores de cuatro tiempos diesel (Wartsila).	42
2.4.2.3	Sistema de combustión compuesta Diesel/Metanol (DMCC).....	44
2.4.3	Pilas de combustible que requieren metanol, para generación eléctrica a bordo	48
2.4.3.1	MS Innogy	48
2.4.3.2	Buque Undine y proyecto METHAPU	54
2.4.4	Bunkering de metanol.....	58
2.4.4.1	Tanques de metanol.	60
2.4.4.2	Manejo del metanol en espacios de máquinas.	61
2.4.4.2.1	Aspectos de carácter general.....	62
2.4.4.2.2	Protección del sistema de bombeo.	63
2.4.4.2.3	Válvulas	63
2.4.4.2.4	Bombas de combustible.....	64
2.4.4.2.5	Control de temperatura.....	64
2.4.5	Detección y extinción de incendios.....	64
2.4.6	Protección individual ante el metanol.	66
2.4.7	Metanol desde una perspectiva económica	67
2.4.7.1	Inversión de capital en el buque y motorización:	67
2.4.7.2	Inversión en infraestructura de almacenamiento y transporte de combustible.....	68
2.4.7.3	Coste del combustible.....	69
2.4.8	Perspectiva general de diferentes motorizaciones susceptibles de cumplir las normativas de contaminación y eficiencia sometidas a estudio	71
3	Aplicación práctica	71
3.1	Compañía NYK.....	71
3.2	Compañía Stena line	73
3.3	Compañía Waterfront Shipping Company	75

3.4	Administración Marítima Sueca.....	76
3.5	Astilleros Jiang Long.....	78
4	Conclusiones	78
5	Referencias bibliográficas	79
5.1	Sitios web	80
5.2	Artículos.....	80
5.3	Revistas	81
5.4	manuales.....	81
5.5	Tesis.....	82
5.6	Normativa	82
6	Anexos.....	82

PALABRAS CLAVE

Metanol

Contaminación medio marino

Eficiencia energética

Combustible

Marina Mercante

Energía

RESUMEN

Dada la permanente búsqueda de maneras más eficientes y respetuosas con el medio ambiente, de propulsar la flota mundial, el presente trabajo tratará de dar una visión general del que parece uso creciente del metanol como combustible marino.

Esta sustancia química, cuya demanda mundial se estima en 30 millones de toneladas métricas anuales, es uno de los productos químicos más consumidos.

Bien es cierto que aunque aún es escaso su número, tenemos ejemplos de empresas constructoras de motores marinos o navieras, muy importantes, incluso líderes, en sus respectivos sectores, dentro del ámbito marino, que están apostando fuerte por esta tecnología, muy limpia en comparación a los combustibles tradicionales marinos, lo que podría ser indicativo de que en corto/medio plazo la propulsión con metanol sea más común.

En este trabajo, se analizan aspectos referentes al cumplimiento de normas medio ambientales, sus características como sustancia química y como combustible, ventajas o inconvenientes de su uso, tipo de motores y buques en que está siendo utilizado, legislación al respecto, actualidad en la materia, y algunos otros aspectos de otras índoles.

KEYWORDS

Methanol

Marine environment pollution

Energy efficiency

Propulsion

Merchant Marine

Energy

SUMMARY

Given the ongoing search for more efficient and environmentally friendly ways to propel the global fleet, this work will seek to give an overview of what appears to be increasing use of methanol as marine fuel.

This chemical, whose global demand is estimated at 30 million metric tons per year, is one of the most consumed chemicals.

It is true that although their number is still low, we have examples of very important marine or shipping engine construction companies, even leaders, in their respective sectors, within the marine field, which are betting heavily on this technology, very clean compared to traditional marine fuels, which could be indicative that in the short/medium term methanol propulsion is more common.

This work analyses aspects related to compliance with environmental standards, their characteristics as a chemical and as fuel, advantages or disadvantages of their use, type of engines and vessels in which it is being used, legislation in this regard, current in this area, and some other aspects of other nature.

DESTINATARIO

El destinatario de este proyecto es la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria, como Trabajo Fin de Máster para la obtención del título de Máster en Ingeniería Marina.

LISTADO DE ABREVIATURAS

AR-AFFF: Tipo de espuma para combatir incendios, producida a base de fluoro proteínas.

BFIV: Válvula impulsora de combustible.

CO₂: Dióxido de carbono.

DM3: Dimetil éter.

DMCC: Sistema de combustión compuesta Diesel/Metanol.

DMDC: Dicarbonato de dimetilo.

ECA: Zonas de control de emisiones atmosféricas.

EDDI: Índice de diseño de eficiencia energética para los buques nuevos.

EPI: Equipos de Protección Individual.

DME: Dimetil éter.

DNV GL: Sociedad de clasificación (Det Norske Veritas Germanischer Lloyd).

FSN: Número de Bosch (Filter Smoke Number).

g: Gramo.

GT: arqueo o tonelaje bruto.

HFO: Fuel Oil pesado.

IGF: Código internacional de seguridad para buques que utilicen gas u otros combustibles de bajo punto de inflamación.

IMO: Organización Marítima Internacional.

kW: Kilo Watio.

kWh: Kilo Watio hora.

LFSS: Sistema de suministro de combustible gaseoso licuado.

LNG: Gas natural licuado.

LPG: Gas licuado del petróleo.

MARPOL: Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques.

ME-LGI: Tipo de motor diseñado para su uso con combustibles líquidos con una presión de vapor cercana a los 60°C.

Me OH: Metanol.

MW: Mega Watio.

OSHA: Occupational Safety and Health administration.

PEL: Límite de exposición permisible a una sustancia química.

PPM: Partes por millón.

RPM: Revoluciones por minuto.

SCR: Catalizador para los gases de escape mediante urea.

SEEMP: Plan de gestión de la eficiencia energética de los buques.

SOFC: Pila de combustible de óxido sólido.

Tpm: Tonelaje bruto. Expresa la capacidad de carga sin riesgo de un buque.

TWA: Promedio de ponderación en el tiempo.

DEFINICIONES

Bunkering: Término inglés, que designa el abastecimiento y repostaje de los buques en el mar.

Combustibles tradicionales: Se entenderá bajo esta denominación los diferentes tipos de combustibles usados tradicionalmente en los buques mercantes. Fuel y los diversos tipos de Diesel oil.

Combustibles limpios: Se entenderá bajo esta definición, aquellos combustibles que cumplan con las legislaciones relativas a contaminación.

Eficiencia eléctrica: Es la proporción o relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, bienes o de energía, y la energía de entrada.

Eficiencia general: Relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los logros conseguidos con el mismo.

Flashpoint: Temperatura mínima a la que un líquido, emana el suficiente gas como para inflamarse ante una fuente de ignición.

Gas inerte: Es un gas no reactivo bajo determinadas condiciones de presión y temperatura.

Lluvias ácidas: Lluvias en las cuales está contenido, óxidos de azufre y nitrógeno que acaban transformados en ácido nítrico, ácido sulfuroso y ácido sulfúrico.

Mol: Número de átomos o moléculas que hay en los gramos de una sustancia igual a su masa molecular o atómica.

Motor dual: Motor en el que el aporte energético puede ser proporcionado por dos combustibles diferentes.

Número de cetano: relación con el tiempo que transcurre entre la inyección de combustible y el inicio de la combustión.

Óxidos de azufre: Óxidos que se forman con el azufre, en este trabajo se entenderá bajo esta definición el óxido de azufre y dióxido de azufre.

Óxidos de nitrógeno: Óxidos que se forman con el nitrógeno, en este trabajo se entenderá bajo esta definición el óxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno.

Presión y temperatura normal: conjunto de condiciones normalizadas de presión y temperatura para las mediciones experimentales en laboratorio, que se establecen para permitir comparaciones entre diferentes conjuntos de datos medidos.

Punto de congelación: Temperatura a la que una sustancia llega a un punto de equilibrio en su transición de estado líquido a estado sólido.

Punto de ebullición: Temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión que rodea al líquido y se transforma en vapor.

Retrofit: En este trabajo se entenderá bajo esta definición, como una modificación importante realizada en un motor.

Torre de lavado (Scrubbers): Sistema encargado de lavar con agua y sustancias químicas los gases de escape, antes de ser emitidos a la atmósfera.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas ECA y futuras zonas ECA (Fuente IMO, Año 2020)	22
Figura 2: Restricciones entre los años 2014 y 2025 (Fuente NYK, Año 2019)	25
Figura 3: Evolución de la producción mundial de metanol entre los años 2010 y 2018 (Fuente FCBI Energy, Año 2015).....	27
Figura 4: Características de diferentes combustibles (Fuente FCBI Energy, año 2015).....	31
Figura 5: Ciclo de vida de diferentes combustibles y su impacto medio ambiental (Fuente Stena Lines, Año 2017).....	31

Figura 6: Funcionamiento de la válvula inyectora BFIV (Fuente MAN B&W, Año 2014).....	39
Figura 7: Culata equipada para el uso de metanol (Fuente MAN B&W, año 2014)	40
Figura 8: Inyector Wartsila metanol (Fuente Wartsila, Año 2017)	43
Figura 9: Sistema de metanol en motorizaciones Wartsila (Fuente Wartsila, Año 2017) ...	44
Figura 10: Inyección de metanol en sistema DMCC (Fuente Universidad de Tianjin, año 2019)	45
Figura 11: Esquema de funcionamiento del sistema DMCC (Fuente: Universidad Tecnológica de Chambers, año 2015)	46
Figura 12: Lógica de funcionamiento del sistema DMCC (Fuente Universidad tecnológica de Chalmers, Año 2015)	47
Figura 13: Proceso de obtención de metanol en Essen (Fuente Oscar Santiago, Año 2017)	50
Figura 14: MS Innogy navegando (Fuente Weisse Flotte Baldeney, Año 2020)	51
Figura 15: Esquema de potencia del buque MS Innogy (Fuente Oscar Santiago, Año 2017)	52
Figura 16: Pilas de combustible del buque MS Innogy (Fuente Oscar Santiago, Año 2017)	54
Figura 17: Buque Undine (Fuente Wallenius Wilhelmsen, Año 2020)	55
Figura 18: Unidad SOFC (Fuente Wartsila, año 2020)	56
Figura 19: Funcionamiento SOFC (Fuente METHAPU, Año 2020)	57
Figura 20: Ejemplo de sistema de combustible (Fuente DNV GL, Año 2017)	59
Figura 21: Evolución de los precios del metanol en Europa (Fuente DNV GL, Año 2015) ...	70
Figura 22: Evolución de los precios de diferentes combustibles (Fuente Stena Lines, Año 2015)	70
Figura 23: Comparativa de diferentes combustibles marinos (Fuente FCBI Energy, Año 2015)	71
Figura 24: Takarua Sun (Fuente NYK, Año 2020)	72
Figura 25: Stena Germánica (Fuente Stena Lines, año 2019)	73
Figura 26: Modificación del Stena Germánica (Fuente Stena Lines, Año 2019)	74
Figura 27: Lancha de práctico motorizada bajo sistema DMCC (Fuente Universidad Tecnológica de Chalmers, Año 2015)	77
Figura 28: Gabarra en astilleros Jiang Long (Fuente Astilleros Jiang Long, Año 2020)	78

1 Introducción

1.1 ANTECEDENTES

Debido a la creciente preocupación mundial sobre la contaminación del medio ambiente, el cambio climático y sus consecuencias sobre el planeta, nuevas y restrictivas normativas internacionales intentan frenar estas consecuencias, derivadas en una parte importante, a las emisiones a la atmósfera por parte de los buques.

Por todo esto, el sector marítimo, en los últimos años, ha dado grandes pasos en este sentido, buscando diferentes sistemas de funcionamiento más amistosos con el medio ambiente, lo más eficientes posible, y que puedan ser usados con total seguridad para la integridad de los buques, las personas que los tripulan y el medio ambiente.

Algunos de los pasos más importantes se han dado en la evolución hacia nuevos combustibles, intentando dejar de lado en la mayor medida posible, a los combustibles tradicionales, muy contaminantes.

En este sentido, ha cobrado mucha importancia el uso del gas natural como alternativa al petróleo. Pero en una posición destacada en esta carrera para la sustitución de los combustibles tradicionales usados en los buques mercantes, tenemos al metanol, actualmente en desarrollo y en uso en quimiqueros o incluso en ferries, es el caso del Stena Germánica, segundo ferry con más eslora del mundo.

Ejemplos como estos, dan una idea de que realmente podría convertirse en una alternativa real, factible y mucho más generalizada.

Este alcohol, además de ser un producto químico muy transportado a bordo de buques quimiqueros, es uno de los productos más usados en la industria, por ello, su uso y distribución es bien conocida.

Desde el día 1 de Enero de 2020, está en vigor la norma IMO 2020. Esta reduce el límite de porcentaje de azufre en el fuel oil para buques mercantes con carácter general, del 3.50% al 0.5% (Masa / Masa). Este límite es obligatorio para todos los buques que operen fuera de las zonas de control de emisiones, donde el límite de azufre está en 0.10%. Es importante destacar que los óxidos de azufre que son expulsados a la atmósfera en las chimeneas de los buques, son muy dañinos para el medio ambiente, produciendo lluvias ácidas, además de ser muy dañinos para la salud humana y de los animales, produciendo especialmente, enfermedades respiratorias.

Según la IMO, esta reducción en el contenido de azufre en los combustibles, será responsable de una disminución del 77% de óxidos de azufre producidos por los buques, es decir, unos 8,5 millones de toneladas métricas. Además, esto se traduce en una reducción a esta escala de partículas sólidas en las emisiones de los buques

mercantes. Esta atención al caso del azufre, es debida a que es un factor contaminante que únicamente depende del combustible utilizado.

Por esto, las soluciones que las navieras tienen que adoptar para poder cumplir esta nueva norma, giran en torno a estos tres puntos:

- Uso de combustibles con un contenido máximo de 0.5% de azufre. Este combustible es ofrecido en los puertos de todo el mundo, pero dada su actual demanda, hay casos de falta de abastecimiento, problema que la IMO conoce y que podría suponer un inmediato aumento en los fletes a consecuencia de ello.
- Otra opción común, es el uso de combustibles con más azufre. En este caso los buques deberán de tener el sistema de torres de lavado de gases o scrubbers, que se encargan de limpiar los gases de escape hasta cumplir con esta y más restricciones.
- La opción más interesante y en la que más recursos se están empleando, tanto por la industria como por parte de los armadores, es la búsqueda de nuevos combustibles; o el uso de combustibles limpios en buques que hasta ahora no los usaban, como es el caso del gas natural licuado y su uso en ferries por ejemplo. El gas natural, en los últimos años, ha cobrado muchísima importancia en el sector. En el siguiente lugar en esta carrera en la investigación y desarrollo de combustibles limpios, está el metanol.

1.2 NATURALEZA DEL TRABAJO Y CONTEXTO TÉCNICO

Este trabajo, catalogado como estudio o informe de ingeniería, se trata de un estudio técnico y versará sobre el conocimiento, desarrollo, actualidad, futuro y aplicaciones del metanol en la industria marina; estableciendo como base el cumplimiento de todas las normativas referentes a contaminación y eficiencia energética, cada vez más severas y numerosas.

Las fuentes utilizadas para recopilar la información necesaria, serán provenientes de diferentes organismos y entidades nacionales e internacionales, especialmente en lo relativo a normativas, y en el fomento de la investigación y desarrollo de la

tecnología relacionada con el la industria del transporte marítimo y el uso del metanol.

Además, se prestará especial atención a las multinacionales, como diferentes fabricantes de motores o navieras entre otros, que están apostando muy fuerte por esta opción.

Por tanto, la naturaleza del trabajo resulta de las numerosas y cada vez más restrictivas normativas relativas a la contaminación por parte de los buques por el uso de combustibles considerados sucios, sin dejar de lado la eficiencia energética, aspectos jurídicos y técnicos que garantizan su uso de manera segura, ofreciendo como solución una alternativa que parece va cogiendo fuerza en el sector, el metanol.

1.3 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El motivo por el cual, este Trabajo Fin de Master se realiza, es exponer la creciente presencia del metanol en la propulsión de los buques mercantes, como combustible alternativo a los combustibles marinos tradicionales, mucho más contaminantes y cada vez más vetados por las normativas internacionales.

El metanol, es una sustancia química de uso muy común en la industria mundial, que puede ser obtenido a partir de otros combustibles como es el gas natural, o el carbón, pero también se puede obtener con huella de carbono cero, como es el caso del bio metanol proveniente de masas boscosas, o incluso del dióxido de carbono de la atmósfera o residuo de otras actividades industriales. Esto ciertamente lo convierte en un candidato privilegiado en esta búsqueda de nuevos combustibles y técnicas amistosas con nuestro planeta.

Este alcohol, además de uso y manejo, que ciertamente supone un reto a bordo dada su gran toxicidad, es de sobra conocido por la industria, y está disponible en la mayor parte de los puertos más importantes del mundo, es una de las sustancias química más transportadas en el mundo.

Es importante destacar que en 88 de los 100 puertos más importantes del mundo, el metanol está presente.

1.4 RELEVANCIA

En los últimos años han surgido nuevas normal, como la reciente IMO 2020, que rebaja de forma drástica el contenido máximo de azufre en los combustibles marinos, fuera y especialmente dentro de zonas ECA. O el control por medio de reglas como las IMO Tier, de los óxidos de nitrógeno emitidos en las chimeneas de la flota mundial, así como reglas de eficiencia energética, como son las expuestas en el capítulo 4 del Anexo VI de MARPOL.

Todas han ido surgiendo de manera muy rápida en el tiempo, exigiendo mucho esfuerzo en la innovación y el desarrollo, por parte de las navieras y los fabricantes de motores y otros equipos.

Dado este problema por la adaptación tan grande que se exige a la industria naval, se plantea una solución que pueda tener interés en el ámbito naval a la hora de optar por una u otra solución para cumplir con estas y otras legislaciones.

2 Memoria descriptiva

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, varias normativas muy restrictivas en cuanto a la contaminación por parte de los buques han entrado en vigor. Estas han obligado a las navieras de todo el mundo a actualizar la manera de propulsar sus buques, con nuevos combustibles, o combustibles que aunque ya eran utilizados por un determinado tipo de buques mercantes, no lo eran en otros tipos que ahora si los consumen, véase el ejemplo del gas natural, actualmente el combustible mejor posicionado en este cambio.

Pero no sólo el gas natural es una opción, existe otra alternativa viable, y es el uso del metanol.

2.2 CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN POR LOS BUQUES (MARPOL)

El Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL), es el convenio internacional más importante sobre la prevención de la contaminación del medio marino por parte de los buques, tanto a causa de motivos relacionados con el propio funcionamiento del buque, como a motivos de carácter accidental.

Este Convenio, fue adoptado en el año 1973 en la sede de la Organización Marítima Internacional.

El Protocolo de 1978, se adoptó en respuesta a una serie de accidentes de buques tanque ocurridos en 1976 y 1978. En aquel momento el Convenio MARPOL 1973, no había entrado en vigor, así que el Protocolo de 1978 absorbió al de 1973. Entró en vigor el 2 de octubre de 1983.

En 1997, se adoptó un Protocolo con nuevas enmiendas en el Convenio, creándose un nuevo Anexo, el cual resulta particularmente importante en el estudio realizado en este trabajo. Se trata del Anexo VI, que entró en vigor el 19 de mayo del año 2005. Este fue ratificado por 88 países miembros de la Organización Marítima Internacional, que representaban en aquel momento el 96.16 por ciento de la flota mundial.

2.2.1 ANEXO VI MARPOL 73/78

El Anexo VI del MARPOL 73/78 constituye el marco jurídico más importante de cara a normas y limitaciones en cuanto a contaminación atmosférica por parte de los buques, estableciéndose límites a las emisiones de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno en los gases de escape emitidos por los buques. Además se prohíben emisiones deliberadas que agotan la capa de ozono del planeta.

Por otra parte se establecen zonas de control de emisiones designadas, donde estas normas de contaminación son mucho más restrictivas en relación a los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y partículas emitidas.

En un capítulo adoptado en el año 2011, se establecen medidas técnicas y operacionales obligatorias de eficiencia energética, encaminadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques.

El fin que persigue este anexo, es proteger el planeta de lluvias ácidas, evitar el debilitamiento de la capa de ozono, frenar el cambio climático, minimizar efectos nocivos sobre la biosfera y la especie humana en particular.

2.2.1.1 Óxidos de nitrógeno

Durante la combustión, el oxígeno y el nitrógeno, presentes en el aire, se combinan formando principalmente:

- a) Monóxido de nitrógeno (NO) : Molécula altamente inestable en el aire, pudiendo convertirse en ácido nítrico. Es una de las moléculas emitidas en los gases de escape, responsables de las lluvias ácidas. Además también es responsable en parte del agujero en la capa de ozono. El monóxido de nitrógeno, se forma principalmente en zonas de menor temperatura en la cámara de combustión.
- b) Dióxido de nitrógeno (NO_2) : Se trata de un gas tóxico para la vida. Es causante de enfermedades respiratorias. El dióxido de nitrógeno, se forma principalmente en zonas de alta temperatura en la cámara de combustión.

Los límites generales de óxidos de nitrógeno emitidos, actualmente con carácter general están marcados por la norma IMO Tier II, para motores instalados después del 1 de enero de 2011, estos son:

1. 14.36 g/kWh si el número de revoluciones del motor es inferior a 130 rpm

2. $44 \times (\text{Revoluciones motor})^{-0.23} \text{ g/kWh}$ si el número de revoluciones del motor es igual o superior a 130 rpm pero inferior a 2000 rpm
3. 7.668 g/kWh si el número de revoluciones del motor es igual o superior a 2000 rpm

La regla IMO Tier III prohíbe el funcionamiento de todo motor Diésel marino, con potencia igual o superior a 130 kW, instalado en un buque construido a partir del 1 de Enero del año 2016, cuyos óxidos de nitrógeno superen:

1. 3.4 g/kWh si el número de revoluciones del motor es inferior a 130 rpm
2. $9 (\text{Revoluciones motor})^{-0.2} \text{ g/kWh}$ si el número de revoluciones del motor es igual o superior a 130 rpm pero inferior a 2000 rpm
3. 1.96 g/kWh si el número de revoluciones del motor es igual o superior a 2000 rpm

Además, con carácter general, en aguas de América del Norte y el caribe de los Estados Unidos; o a partir del 1 de Enero de 2021 en aguas del mar del Norte y el mar Báltico, es decir, en zonas ECA, a menos que la cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos por el motores se encuentren dentro de los límites

2.2.1.2 Óxidos de azufre

Como ya se citó anteriormente, en la actualidad el combustible usado a bordo debe tener un límite máximo de contenido de azufre de 0.50% masa/masa con carácter general, y de 0.10% masa/masa en zonas ECA, por lo que se hace necesaria la búsqueda de nuevos combustibles y nuevas técnicas como defiende este trabajo.

Además existe una relación directa entre las emisiones de óxidos de azufre y las partículas sólidas que se emiten a la atmósfera. Aún así en un futuro se necesitarán regulaciones sobre la emisión de partículas sólidas más explícitas.

2.2.1.3 Zonas ECA

Establece zonas de control de emisiones (zonas ECA), donde se controlan de manera mucho más estricta, las emisiones atmosféricas de los buques, en lo que respecta a óxidos de azufre y partículas sólidas y/o óxidos de nitrógeno.

Actualmente la restricción en óxidos de azufre, para estas zonas en contenido de azufre es 0.1% masa/masa, en cuando a óxidos de nitrógeno, es de obligatorio cumplimiento la normativa IMO Tier III.

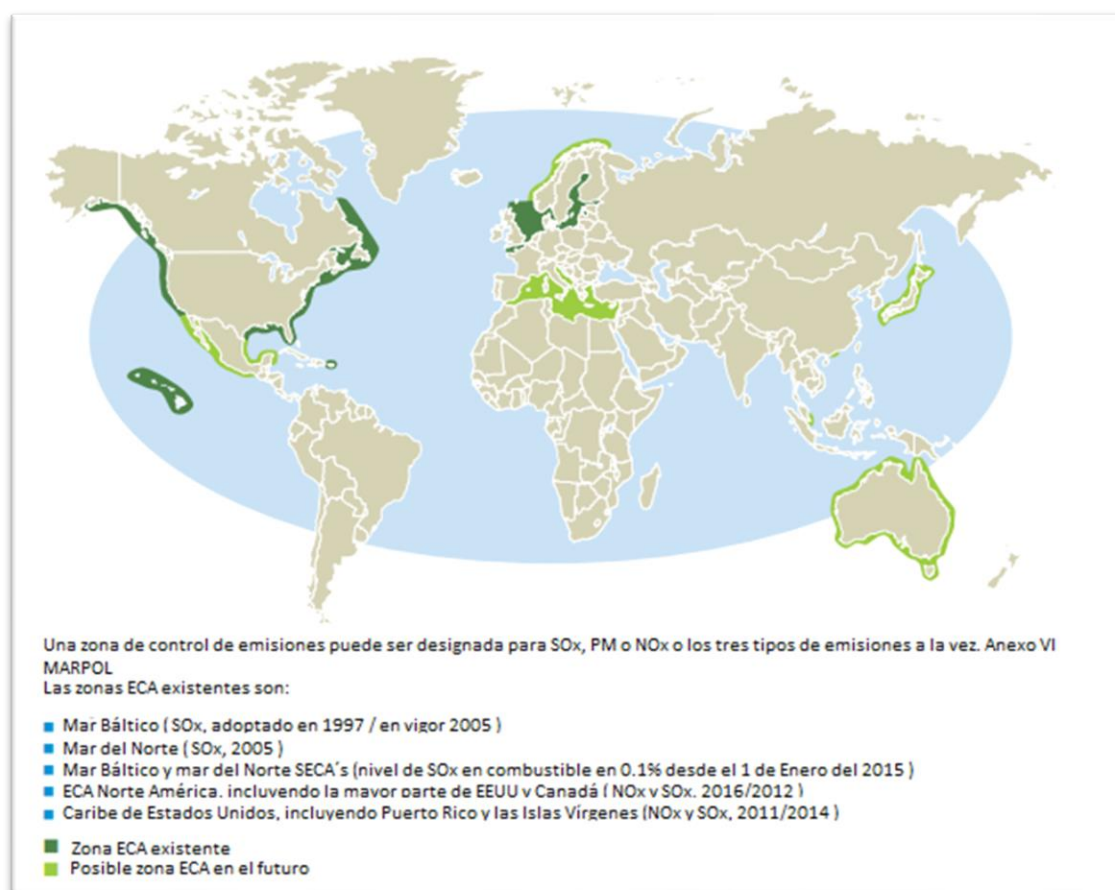


Figura 1: Zonas ECA y futuras zonas ECA (Fuente IMO, Año 2020)

2.2.1.4 Índices De Eficiencia Energética

En el Anexo VI de MARPOL, en el capítulo 4, se establecen dos mecanismos que garantizan una norma de eficiencia energética para los buques

2.2.1.4.1 Índice De Diseño De Eficiencia Energética (EEDI) Para Los Buques Nuevos

Este es, un mecanismo basado en el rendimiento, requerido para una eficiencia energética mínima exigida para los nuevos buques, o que aquel que sufriera una transformación importante (EEDI prescrito).

El fin es promover el uso de equipos, maquinaria eficiente y factores que afectan al combustible, de manera eficiente y poco contaminante. Lo hace exigiendo un nivel de eficiencia energética mínimo por milla navegada. Es obligatoria desde el año 2013, debiendo los buques cumplir su nivel de referencia y ajustarlo cada 5 años.

El EEDI obtenido por un buque, representa la cantidad de CO₂ generada por cada tonelada-milla de trabajo. De esta manera se obliga a la gestión eficiente de los equipos, y a la innovación en estos por parte de las compañías.

Para el cálculo de este índice, se tiene en cuenta el tipo de buque, el motor principal y energía necesaria para la propulsión, potencia de motores auxiliares, otros dispositivos de generación de energía del buque, otros dispositivos que ayuden a la propulsión, capacidad del buque y velocidad.

2.2.1.4.2 Plan De Gestión De La Eficiencia Energética De Los Buques (SEEMP) Para Todos Los Buques

Desde julio de 2013 es obligatorio para todos los buques de más de 400GT, con determinadas excepciones en función del tipo de viajes realizado por el buque, disponer a bordo de un plan de gestión de la eficiencia energética, denominado SEEMP. Este, exige un nivel de eficiencia energética mínimo por milla navegada, y cada buque nuevo debe de cumplir el nivel de referencia que le corresponde por el tipo de buque al que pertenece.

En el SEEMP se debe incluir las motivaciones y objetivos de la compañía y del buque en materia de eficiencia energética, un resumen del balance energético del buque y de los indicadores de rendimiento, medidas de ahorro energético implementadas a bordo, detallando como se han implementado, responsabilidades, objetivos y herramientas de seguimiento y evaluación.

El EEDI, es un índice basado en criterios de rendimiento, no define que tecnologías deberán utilizarse en los proyectos de los barcos. Expresa una cifra de gramos de dióxido de carbono por milla navegada, cuanto menor sea, mayor será la eficiencia energética del proyecto del nuevo buque. El plan de gestión de la eficiencia energética, se exigirá a todos los buques.

2.2.1.5 Código internacional de seguridad para buques que utilicen gas u otros combustibles de bajo punto de inflamación. Código IGF

Este código que entró en vigor el 1 de enero de 2017, establece una norma internacional para los buques que consuman combustibles de bajo punto de inflamación, a excepción de los metaneros, ya que están regidos por el código CIG.

En el se incluyen disposiciones obligatorias para la disposición, instalación, control y vigilancia de maquinaria, equipo y sistemas que utilicen combustibles de bajo punto de inflamación. En la actualidad sólo es aplicable al gas natural, tanto licuado como comprimido, pero pronto se irán desarrollando capítulos para otros combustibles, entre ellos el metanol.

Category	Regulations	International conventions and regulations	Sea area	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2025
GHG	EEI (Energy Efficiency Design Index)	Appendix VI to the MARPOL Convention	Open sea areas	Ph 0 0%	Ph 1 10%					Ph 2 20%		Ph 3 30%
	SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan)	Appendix VI to the MARPOL Convention	Open sea areas	Mandatory								
	DCS (Data Collection System)	Appendix VI to the MARPOL Convention	Open sea areas						Adoption			
SOx + PM	SOx	Appendix VI to the MARPOL Convention	ECA	1.0%	0.1%							
			Open sea areas	3.5%						0.5%		
NOx	NOx	Appendix VI to the MARPOL Convention	ECA	Tier II regulations		Tier III regulations (U.S. and Canada coastlines)						(Adding North Sea and Baltic Sea)
			Open sea areas	Tier II regulations								
Biodiversity	Ballast water	Ballast Water Management Convention	Open sea areas				Effective					
	Fouling (Organisms that attach to vessels)	—	—	Formulation of guidelines in 2011 for managing attached organisms (unenforced)								
Demolition	Ship recycling	Ship Recycling Convention (still pending)	Open sea areas	Adopted in 2009 and shall be applicable to all vessels upon becoming effective								

GHG : Greenhouse gases (GHGs) including carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), sulphur hexafluoride (SF₆), etc.
 EEI : The Energy Efficiency Design Index is a formula for measuring a ship's CO₂ emissions per ton-mile, based on the design of the ship being built, incorporating various parameters.
 SEEMP : The Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) is an operational plan for improving energy efficiency on a voyage-specific basis.
 DCS : Shipping firms use a data collection system (DCS) to report to the IMO on fuel consumption, distance travelled, and time spent at sea for all vessels of 5,000 gross tonnage or above operating internationally.
 SOx regulations : Regulations for the percentage of sulfur content in fuel oil, in order to reduce SOx volume in exhaust gas.
 NOx regulations : Staged regulations for NOx volume in engine exhaust gas.
 Tier I regulations : Regulations for emissions based on rated speed of engines for ships constructed between 2000 and 2010.
 Tier II regulations : Mandates 20% reductions from Tier I regulations for ships constructed after 2011. Tier III regulations : The start year for these regulations differs by covered sea area and they come into effect in two stages, the first in 2016 and the second in 2021.
 Ballast Convention : After it came into effect in September 2017, this convention mandated that ballast water processing equipment should be installed on ships by a certain deadline, depending on the type of ship, to prevent the spread of living organisms and some pathogenic bacteria from one region to another.
 Ship recycling : This convention aims to control labor accidents and environmental pollution when ships are dismantled (scrapped). It is effective 24 months after conditions are met.

Figura 2: Restricciones entre los años 2014 y 2025 (Fuente NYK, Año 2019)

2.3 HERRAMIENTAS DE RESOLUCIÓN

2.3.1 El metanol.

El metanol es el alcohol más simple, además es incoloro, higroscópico, completamente miscible en agua y tiene un peso específico de 0.8 g/cm³. Es un líquido orgánico a temperatura y presiones normales. Tiene un olor penetrante que es detectable desde las 2 partes por millón. Su fórmula química es CH₃ OH aunque es muy habitual el uso de la abreviatura Me OH.

El metanol arde con el oxígeno y forma dióxido de carbono y agua:



La molécula del metanol, contiene un átomo de carbono, siendo de esta manera, el alcohol más sencillo que puede derivarse de hidrocarburos saturados normales, es decir, metano (CH₄), etano (C₂H₆) y propano (C₃H₈). Los alcoholes de dos y tres átomos de carbono son el etanol y el propanol respectivamente. Sus nombres derivan de sus correspondientes grupos de hidrocarburos, al convertirse en alcoholes se les

agrega una “l” al nombre, siendo metanol (CH_3OH), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) y propanol ($\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$). A mayor número de átomos de carbono, aumenta el peso molecular, disminuye la temperatura del punto de congelación y aumenta la temperatura del punto de ebullición.

El metanol tiene impurezas típicas, como son el agua, la acetona y el etanol. Su punto de ebullición es $65\text{ }^\circ\text{C}$, y su punto de fusión es $-97\text{ }^\circ\text{C}$, de esto se deduce que es un líquido volátil a temperatura y presión atmosféricas.

El metanol está considerado como un producto petroquímico básico, ya que de él, se obtienen productos secundarios. También está considerado como producto inflamable de primera categoría, ya que emite vapores que mezclados en las proporciones adecuadas con el aire, forma mezclas combustibles. El metanol cuando se oxida, forma formaldehído y ácido fórmico. De su reducción obtenemos metano.

El metanol es consumido en el mundo en multitud de usos industriales, como en la fabricación de anticongelantes, disolventes, combustibles, resinas, o edulcorantes como el aspartamo, además de su uso como aditivo de combustibles.

2.3.1.1 Fuentes del metanol

Existen muchas fuentes naturales de metanol, como gases volcánicos, microbios, insectos, etc... Desde el punto de vista industrial, la manera mediante la cual se puede obtener metanol de una manera abundante y de una fuente biológica, conocido como biometanol, es la biomasa. El biometanol se puede obtener fermentando masas de origen vegetal, cultivadas para este fin, o con restos de otras plantas cultivadas con otros fines, para producir posteriormente bio metanol.

En cuanto a la producción industrial del metanol a partir de fuentes no biológicas. La mayor parte se produce a partir de gas natural, mediante una combustión parcial de este en presencia de vapor de agua. Este proceso tiene una eficiencia energética aproximadamente del 70%. El proceso es altamente exotérmico, y el exceso de calor se usa para producir energía eléctrica, por lo que normalmente, el proceso no necesita de un aporte eléctrico externo.

Los mayores productores mundiales los encontramos en regiones donde los hidrocarburos son abundantes, como el Golfo Pérsico, el Caribe, Sudamérica, África o Rusia. Existe una excepción en relación a los grandes productores de metanol, y es China, ya que la mayor parte la produce a partir del carbón (en el año 2015 el 64% de la producción China fue a partir del carbón, 23% del gas natural y 12% de biomásas).

REGION	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Norte América	1,353	1,160	1,885	2,330	3,110	4,250	6,158	9,108	14,268
Sudamérica	11,113	11,603	11,113	11,163	10,915	10,915	10,915	11,636	11,636
Europa Occidental	3,075	2,975	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075
Europa Central	400	805	400	400	400	400	400	400	400
Estados Bálticos	4,180	4,070	4,160	4,160	4,370	4,820	4,870	5,050	7,230
Oriente medio	16,114	15,464	16,114	16,114	16,114	16,194	16,194	16,194	16,194
África	3,005	2,060	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320
India	502	502	502	597	667	667	832	832	832
Noreste Asiático	37,875	33,389	43,169	50,489	57,034	61,234	66,209	66,759	66,759
Sudeste Asiático	5,180	4,930	5,505	6,047	6,530	6,530	6,530	6,530	6,530
Producción total	82,797	76,958	89,243	97,695	105,535	111,405	118,503	122,904	130,244

Figura 3: Evolución de la producción mundial de metanol entre los años 2010 y 2018 (Fuente FCBI Energy, Año 2015)

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), al año se producen unos 140 millones de toneladas de metanol a partir de fuentes de combustibles fósiles, principalmente gas natural. Respecto al bio metanol, procedente de biomásas, desechos industriales o del CO₂ procedente de procesos industriales, la cantidad producida ronda los 800.000 toneladas. Estas cifras son realmente muy diferentes, pero parece viable que en un plazo corto de tiempo, la industria mundial pueda llegar a superar sobradamente la producción de un millón de toneladas anuales.

El bio metanol, en comparación al metanol procedente de gas natural o carbón, reduce entre el 25 y 40 por ciento la producción de gases de efecto invernadero si tenemos en cuenta su ciclo de vida completo, desde su proceso de producción, hasta que se consume.

Además, mediante el aprovechamiento de calores residuales durante la producción del bio metanol, se puede generar electricidad, incluso otros elementos químicos necesarios para la industria. Este aspecto, puede hacer más interesante la inversión de capitales por parte de la industria o de los países, para la investigación y producción de bio metanol. Por otro lado, hoy en día es posible aportar metanol procedente de biomásas al metanol producido con carbón o gas natural, lo cual es otro aspecto interesante para el desarrollo de una industria de bio metanol más importante. Es decir, la producción de metanol, irá siendo cada vez más sostenible durante los próximos años.

En cuanto a comparativas económicas, una tonelada de metanol procedente de gas natural, varía durante los últimos años entre los 100 y 200 dólares. Los costes de la tonelada de bio metanol, son del doble hasta cuatro veces superiores.

Por ejemplo, el coste de la tonelada de bio metanol, procedente de masas forestales, ha variado los últimos años entre los 160 y 940 dólares. La tonelada de bio metanol procedente de deshechos o sobrantes industriales, ha tenido una variación entre los 200 y 500 dólares. El más caro de todos es el producido a partir de dióxido de carbono de procesos industriales, variando entre los 510 y 900 dólares por tonelada.

2.3.1.2 Manejo del metanol, salud y seguridad.

El metanol es un veneno, esto es, una única exposición, en las cantidades suficientes, puede causar daños muy graves al cuerpo humano, incluso la muerte.

Podemos encontrarlo, de una manera natural o de una manera artificial, en nuestra vida diaria. Se encuentra de manera natural en el cuerpo humano, el nivel básico es de 0.73 miligramos por litro de sangre. Además, estamos expuestos al metanol diariamente, mediante el aire, agua y alimentos, ya que pueden contener metanol en proporciones bajas y totalmente asumibles.

Aditivos de alimentos como el aspartamo, que se usa en la industria alimentaria como edulcorante, el dicarbonato de dimetilo (DMDC), que es un inhibidor de levadura usado en bebidas efervescentes, o también bebidas alcohólicas como la

cerveza o el vino, y desprende posteriormente pequeñas cantidades de metanol al ser metabolizados por el cuerpo.

Además, también estamos expuestos al metanol en nuestra vida, de una manera no natural, principalmente por inhalación. Esta exposición, se debe a productos tan habituales como pueden ser pinturas, productos de limpieza, anticongelantes, adhesivos, humo del tabaco y un largo etcétera.

Las exposiciones medio ambientales al metanol en áreas rurales son inferiores a 0.0008 ppm, en áreas urbanas, puede llegar a 0.03 ppm. El límite de exposición permisible (PEL) al promedio de ponderación en el tiempo (TWA) al metanol, establecido por la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), es de 200 ppm para una jornada laboral de 8 horas diarias, y 40 horas semanales.

A continuación, se citan vías potenciales no deseadas, de entrada de metanol al cuerpo, para una persona de unos 70 kilogramos, siendo la carga básica en el cuerpo para este caso, de unos 35 miligramos.

- Contacto de la piel de la mano con metanol durante 2 minutos: 170 mg.
- Inhalación de metanol 40 ppm durante 8 horas: 170 mg.
- Inhalación de metanol 150 ppm en 15 minutos: 30 mg.
- Ingestión de 0.34 litros de bebida edulcorada con aspartamo: 21 mg.
- Ingestión de metanol de 25 a 90 ml: Dosis letal.

La metabolización del metanol en el cuerpo, es de 25 miligramos por kilogramo y hora, independientemente de la concentración en sangre. Esta velocidad es unas 7 veces más lenta que el etanol, por ejemplo.

Hay que tener muy en cuenta, que los indicios o síntomas de una exposición grave, no se producen de manera inmediata. Entre la exposición y la aparición de los síntomas, normalmente transcurren entre 8 y 36 horas, lo cual puede ser causa de diagnósticos equivocados, sobre todo en personas que no sean conscientes de haber estado expuestas al metanol, o que simplemente desconozcan la naturaleza de este como sustancia muy tóxica.

El cuerpo, presenta una serie de síntomas generales ante una exposición al metanol, irrita los ojos, la piel y el sistema respiratorio. Además elimina los aceites y grasas

naturales presentes en la piel, haciendo que esta se reseque o se agriete. Causa daños permanentes al nervio óptico, al sistema nervioso central y al periférico. Son síntomas típicos de un envenenamiento los dolores de cabeza, mareos, vómitos, dolor abdominal y de espalda, dificultad respiratoria, enfriamiento de las extremidades, letargo y falta de coordinación. Cuando la exposición es a una alta cantidad de metanol, se dan estos síntomas, pudiendo llegar al coma y después a la muerte.

Por otro lado, el metanol, no aparece clasificado como carcinógeno por ninguna organización o agencia gubernamental.

2.3.1.3 El metanol en la industria marina

El metanol es un combustible que puede resultar interesante a la industria marina. Desde un punto de vista de la contaminación, no contiene azufre. Además los óxidos de nitrógeno emitidos por los buques que utilizan metanol, cumplen con Tier III, estando en un rango de 2 a 4 g/kWh, por lo que incluso los buques que operen en zonas ECA, lo harán sin problema. La eficiencia respecto a los combustibles tradicionales, no ha bajado, sino que incluso está siendo mayor.

Por ser líquido en condiciones normales, su almacenamiento a bordo es relativamente sencillo, aunque requiere aproximadamente del doble de espacio en tanques respecto a los combustibles tradicionales.

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

Properties	Methanol	Methane	LNG	Diesel fuel
Fórmula molecular	CH ₃ OH	CH ₄	C _n H _m ; 90 - 99% CH ₄	C _n H _{1.8n} ; C ₈ -C ₂₀
Contenido en carbono	37.49	74.84	≈75	86.88
Densidad a 16°C	794.6	422.5 ^a	431 to 464 ^a	833 to 881
Punto de ebullición a 101.3 kPa	64.5	-161.5	-160 (-161)	163 to 399
Energía específica en MJ/kg	20	50	49	42.5
Energía específica en GJ/m ³	16		22	35
Temp. auto ignición	464	537	580	257
temperatura inflamabilidad	11		-136	52 to 96
Número de cetano	5		0	>40
Limite de inflamabilidad (% volumen en aire)	6.72 to 36.5	1.4 to 7.6	4.2 to 16.0	1.0 to 5.0
Solubilidad en agua	Complete	No		No
% de contenido en azufre	0	0	<0.06	Varies, <0.5 or < 0.1

Figura 4: Características de diferentes combustibles (Fuente FCBI Energy, año 2015)

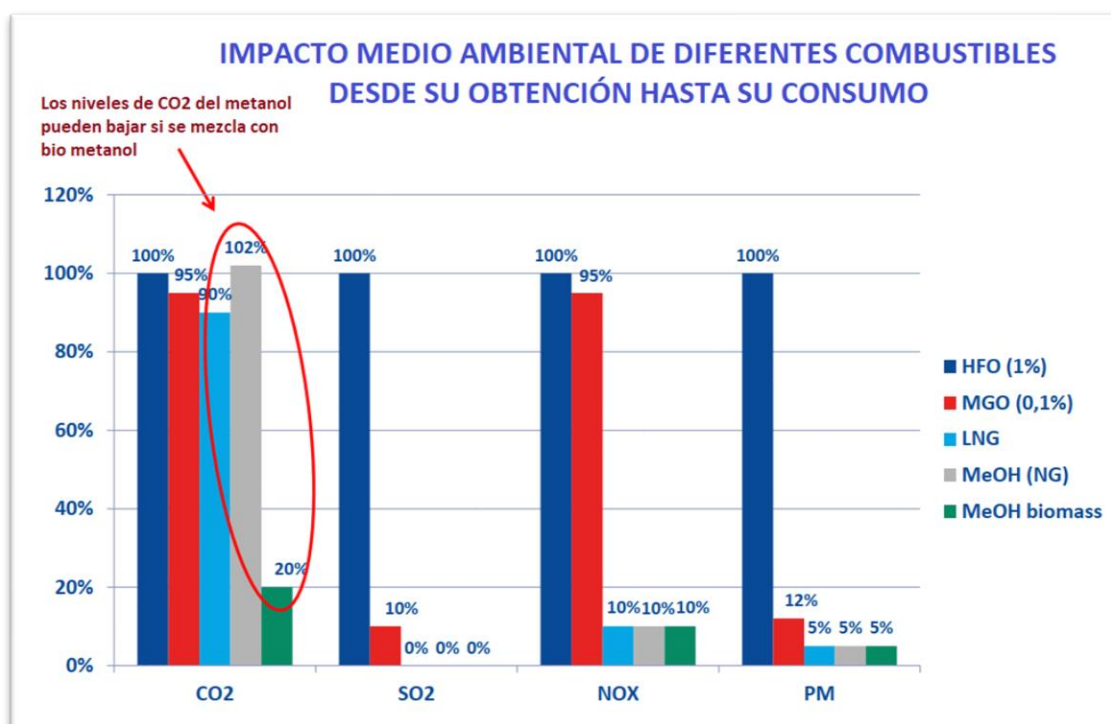


Figura 5: Ciclo de vida de diferentes combustibles y su impacto medio ambiental (Fuente Stena Lines, Año 2017)

Además de estas características, tiene otras cualidades que son positivas en el medio marino en caso de contaminación, tales como:

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

- a) Es miscible en agua en todas las proporciones. Se degrada rápidamente por acción biológica, su vida media en el medio marino es de 1 a 7 días.
- b) No se bioacumula en las cadenas alimentarias.
- c) Se degrada rápidamente en fondos por la acción de microorganismos.
- d) No se acumula en sedimentos por su solubilidad en agua y su alta biodegradabilidad.
- e) En la atmósfera se degrada foto químicamente. Tiene una vida de 3 a 30 días, en función principalmente de la humedad relativa del aire. Es rápidamente eliminado por acción del agua.

Pero tienes otras desventajas como

- a) El metanol es un líquido fácilmente inflamable que arde y a veces, en ciertas circunstancias específicas, puede estallar en el aire en vez de inflamarse.
- b) El peso molecular del vapor del metanol es algo mayor que el del aire (32 frente a 28 gramos por mol), es decir, en caso de fuga o derrame, el metanol líquido se acumulará y sus vapores migrarán a espacios cercanos al suelo. Si el espacio no está bien ventilado, es un factor de riesgo a tener en cuenta. Aun así, estas densidades, al estar tan cercanas, la flotabilidad entre ambos es prácticamente neutral, lo que significa que se espera que en lugares bien ventilados, se disipe inmediatamente.
- c) Hay que tener en cuenta de que en caso de que se inflame, la llama del vapor del metanol puede retroceder hasta su fuente.
- d) El metanol es muy tóxico, entre 25 y 90 mililitros pueden causar la muerte de un ser humano. Cantidades menores pueden causar ceguera irreversible.
- e) El metanol es totalmente miscible en agua y retiene su inflamabilidad. Incluso en concentraciones de agua de hasta el 75%, se considerará un líquido inflamable. Este es un aspecto muy importante a tener en cuenta en caso de incendio.

2.3.1.4 Comparativa metanol/metano como combustibles marinos

En los últimos años, el LNG se ha colocado como la alternativa con más presente y futuro en cuanto a nuevos combustibles en la industria marina.

En el año 2022, habrá 14 buques mercantes que usen metanol como combustible, según Japan Marine Science Inc, en el año 2025 habrá 316 buques mercantes que usarán el LNG como combustible.

En una comparativa con la solución del LNG, podemos establecer que:

- El metanol tiene muchos más puntos de suministro en todo el mundo, ya que es uno de los compuestos químicos más usados en el mundo. Además, al ser líquido a temperatura ambiente, y como puede ser almacenado en tanques no presurizados, su distribución en barco, camión, tren...es posible, facilitando enormemente el abastecimiento de los puertos.
- La inversión en todo el equipamiento para un buque propulsado con metanol, es menor que la necesaria para un buque propulsado con LNG.
- El metanol es tóxico y corrosivo, además necesita mucho más espacio que el LNG.
- Tienen una temperatura de inflamación muy baja, no cumpliendo en este sentido con el SOLAS. Sin embargo, el uso de seguridades por parte de los fabricantes de motores, como dobles paredes en elementos por donde circulan estos combustibles, control de cualquier fuga, etc... hace que no existan problemas con esto. Aún así, es mucho más fácil el manejo del metanol en comparación al LNG.
- Sobre el 80% de la producción anual de este producto, se distribuye por vía marítima hacia las redes de distribución, aspecto que resulta muy interesante a la hora de su uso como combustible en estos buques que transportan metanol, de una manera análoga al caso del LNG.

2.3.1.5 Corrosión y formación de formaldehidos

El metanol es un producto muy corrosivo. Aun así no se han detectado problemas muy diferentes de los habituales de corrosión en las cámaras de combustión, en comparación a los combustibles marinos tradicionales. Estos combustibles también

forman una atmósfera muy corrosiva en las cámaras de combustión, por lo que estas, ya están suficientemente preparadas para hacer frente al problema de la corrosión del metanol.

El formaldehído es un producto de la oxidación del metanol. Este es un compuesto químico: volátil, incoloro, con alta solubilidad en agua, con un punto de fusión de $-92\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un punto de ebullición en $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ e inflamable, que en condiciones normales está en estado gaseoso y su olor es molesto.

De la oxidación del formaldehído, se forma el ácido fórmico, y en una segunda etapa, se forma agua y dióxido de carbono.

Hasta el momento no se han detectado problemas de formación de formaldehídos en la combustión. El metanol arde en la cámara de combustión a más de $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los formaldehídos se forman en el rango de temperatura de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, por este motivo, no hay formación y escape de formaldehídos a la atmósfera.

Los motores de 2 y 4 tiempos, que siguen el ciclo Otto, tienen mucha más probabilidad problemas de formación de formaldehídos en la combustión o en los gases de escape. Hasta la fecha de publicación de este trabajo, no se tiene conocimiento de ningún motor utilizando metanol como combustible, bajo ciclo Otto en la industria marina.

2.4 METODOLOGÍA

2.4.1 ANÁLISIS DE LAS OPCIONES DISPONIBLES

El metanol, hasta la fecha de la publicación de este trabajo, está siendo usado en varios tipos de motorizaciones, principalmente, ciclos Diesel con tecnología dual, tanto en dos como en cuatro tiempos, en función del fabricante y tipo de buque. El más extendido por el momento, y parece que durante unos años seguirá siéndolo, en su modalidad bajo metanol, es el ciclo Diesel de dos tiempos.

Para grandes potencias dos son los únicos fabricantes de motores, que en este caso particular, pueden ser perfectamente modificados para el uso de metanol como combustible principal. Es decir, en este rango de potencias, se dispone de modelos de motores que pueden modificarse para su uso con metanol, no son modelos fabricados expresamente para este fin, aunque no entraña dificultad alguna su transformación. A continuación se describirán.

Para pequeñas potencias, están surgiendo opciones viables que en cierta manera, se basan en el funcionamiento de los motores de grandes potencias citados en los dos párrafos anteriores, y que a continuación también se describirán.

En cuanto a la generación eléctrica, la industria mundial, el sector del transporte marítimo, organizaciones internacionales como la Unión Europea, están poniendo recursos y esfuerzos en la investigación, desarrollo y aplicación práctica de las pilas de combustible.

En este apartado el metanol parte como combustible privilegiado, no por ser un buen combustible para las pilas de combustible, ya que las pilas de metanol, no son tan efectivas como las de hidrógeno, sino por ser un alcohol muy sencillo, fácil de separar y portante de gran cantidad de hidrógeno. En estos puntos, encontramos el motivo por el cual es un combustible privilegiado para las pilas de combustible.

Aunque aún están realmente en sus inicios, tanto en uso, como en potencias otorgadas por estas pilas, existen ejemplos de generación eléctrica a bordo, tanto para el suministro eléctrico de servicios generales, como propulsión. También serán descritos.

2.4.2 MOTORIZACIONES CON METANOL

Las motorizaciones marinas que existen para el uso de metanol como combustible principal, son bajo ciclo Diesel en dos (MAN B&W) y cuatro tiempos (Wartsila); adaptando motores al modo dual fuel con metanol como combustible principal y combustibles tradicionales para la llama piloto. En estas adaptaciones, las modificaciones más importantes están en la inyección, que se modifica para que la presión sea mayor.

El metanol en un principio tiene problemas importantes, por ejemplo tiene una viscosidad muy baja, así que esto afectará sobre manera a las juntas, sellos, etc... Las tuberías serán de doble pared, para evitar el contacto directo con el metanol dada su elevada toxicidad, entre las dos paredes circulará continuamente aire para monitorizar la no existencia de escapes de metanol. El aluminio es un material que no se puede utilizar, ya que el metanol es incompatible con este. Además, es necesario un sistema de purga del motor con nitrógeno para poder trabajar en el sin riesgos para la salud de las personas.

Por otro lado tiene ventajas, una muy a tener en cuenta, es que no es necesario calentar el metanol antes de su inyección, al revés, hay ocasiones en las que hay que enfriar el metanol antes de la inyección.

A la hora de remotorizar un barco, además hay que tener en cuenta que se necesitará modificar tanques almacén, tuberías y el sistema de bunkering. Pero por otro lado, calderas y depuradoras no serán necesarias, o su número y potencia será significativamente menor.

En la actualidad hay en desarrollo varios sistemas en desarrollo, que parece podrían tener cabida, como bujías para ayudar en la ignición. Otro concepto que se está trabajando, es el de mezclar el metanol con el aire después del turbo compresor, pero tiene de momento un problema, es difícil controlar los inquemados de metanol, pudiendo dar lugar a un grave problema, la formación de formaldehidos en la cámara de combustión o en los gases de escape.

El metanol parece ser una buena solución para algunas navieras en el intento por evitar la propulsión mediante fuel a causa del azufre, ya que muchas tienen rutas donde el LNG no está disponible, pero si el metanol, recordando que es un producto químico mucho más sencillo de transportar que el LNG por ser líquido y que además no necesitar presurización o criogenización, además, es uno de los productos químicos más usados y transportados en la industria. Sirva de ejemplo que el metanol está disponible en 88 de los 100 puertos más importantes del mundo.

2.4.2.1 Retrofit en motores de dos tiempos Diesel(MAN B&W)

Los motores que se están modificando de dos tiempos, pertenecen al fabricante MAN B&W. Por el momento se están implementando en quimiqueros que transportan metanol. Son los motores de dos tiempos duales ME-LGI (Main Engine liquid gas injection), bajo el ciclo Diesel, con llama piloto que puede quemar cualquiera de los combustibles tradicionales. Esta llama piloto, además de iniciar la combustión del combustible, garantiza que no se emitirán partículas de metanol a la atmósfera.

Las primeras compañías que han encargado y/o están usando estos motores, concretamente el 7S50ME-LGI y el 6G50ME-LGI, son Mitsui O.S.K. Lines, Marinevest y Westfall Larsen. Es muy importante destacar que todos los ME-LGI son compatibles con IMO Tier III.

Estos motores están diseñados para su uso con líquidos gaseosos que tenga una presión de vapor baja, sobre los 60 °C.

Como se ha señalado, la gran modificación que hay que hacer, es en la inyección. La solución que ha propuesto MAN B&W para lograrlo es la válvula BFIV (Booster fuel injection valve), esta válvula es impulsora de combustible y también realiza la función inyectora. Cada una de las culatas tendrá la suya y tendrá montado su bloque de inyección de metanol.

Este bloque tendrá 4 válvulas:

- a) Válvula de control de la inyección del metanol
- b) Válvula de sellado
- c) Válvula de succión forzada
- d) Válvula de purga de metanol

Esta válvula inyector BFIV, tiene que ser refrigerada y también lubricadas sus partes móviles, lo hace con aceite a 50 bar de presión. La temperatura de esta válvula inyector BFIV debe rondar los 60 °C. Por ello este aceite tiene su propio intercambiador de calor.

Por otro lado tiene un aceite de sellado, que trabaja a una presión de unos 300 bar. Su misión es evitar que el metanol atraviese el mecanismo de protección y se mezcle con el aceite de refrigeración y lubricación. Aun así, como redundancia a esta seguridad que proporciona el aceite de sellado, el aceite de refrigeración y lubricación está monitorizado permanentemente para comprobar que no existen restos de metanol en él. Si se detectara, el motor automáticamente pasará a modo Fuel oil, haciéndolo sin pérdida alguna de potencia ni brusquedad. Además, en ese momento, el circuito de metanol del motor se purgará con nitrógeno y el sistema cambiará de bomba de presión de aceite de refrigeración y lubricación de la válvula BFIV, purgando con aceite limpio el sistema.

Este aceite contaminado, y el aceite que el sistema utilizó para la purga, se recoge en un tanque de aceite de refrigeración y lubricación de la válvula BFIV. El sistema por otro lado, no permitirá volver al modo metanol hasta que deje de detectar la presencia de metanol en este aceite.

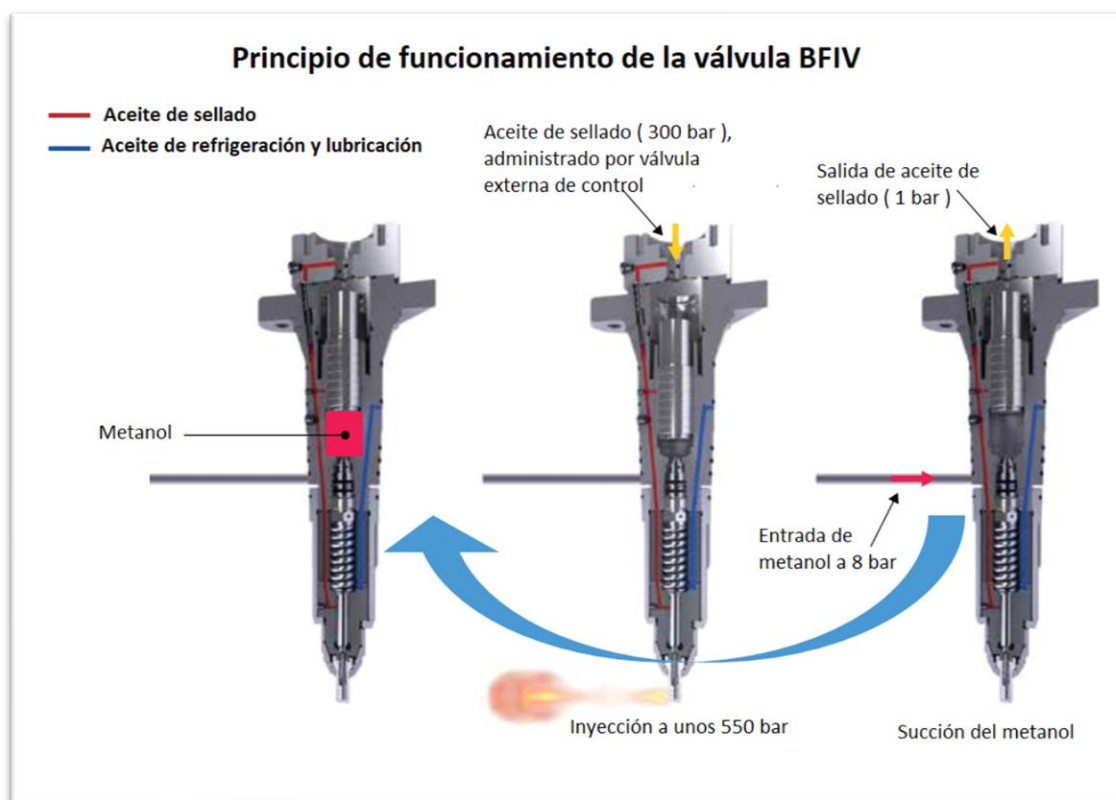


Figura 6: Funcionamiento de la válvula inyectora BFIV (Fuente MAN B&W, Año 2014)

Para el uso del metanol como combustible, estos motores necesitan una bomba de alta presión, instalada para cada cilindro, diseñadas especialmente para el uso de este combustible. Es decir, cada cilindro tendrá dos bombas de inyección, una el inyector, y la propia bomba de alta presión del circuito de combustible.

La presión de inyección se establece en unos 550 bares. Estos motores, monitorizan continuamente tres condiciones en el interior de los cilindros, las presiones de compresión, combustión y expansión. La presión del metanol en el circuito de baja presión es de 8 bares.

El aire que circula por las tuberías de doble pared del metanol, también está continuamente monitorizado en varios puntos del circuito. En caso de cualquier fuga, el vapor desprendido se detectará inmediatamente, el motor dejará de funcionar en modo metanol, y pasará al modo fuel oil sin pérdida alguna de potencia ni cambio brusco alguno.



Figura 7: Culata equipada para el uso de metanol (Fuente MAN B&W, año 2014)

2.4.2.1.1 Sistema de suministro de combustible gaseoso licuado (LFSS)

El motor consume una determinada cantidad de combustible en función de la temperatura y presión del metanol y con un flujo variable en función de la carga del motor. Este sistema suministra el combustible al motor cumpliendo con todas las necesidades de temperatura, presión, flujo y carga.

El sistema actúa de manera similar a lo acostumbrado. El metanol, es impulsado mediante la bomba de baja, siempre a una presión de suministro adecuada para que el

metanol se mantenga en fase líquida, es decir, unos 8 bar. El flujo de suministro debe de ser siempre superior al de consumo, en un factor de 2 a 3 veces mayor.

Para que la temperatura de suministro de metanol, sea la correcta, el circuito de circulación estará refrigerado por el sistema de refrigeración de baja temperatura del motor, mediante un circuito de refrigeración secundario.

2.4.2.1.2 Dilución del metanol con agua

No es necesario otros equipos como SCR (Selective Catalytic Reduction, urea) para reducir óxidos de nitrógeno, cuando se usa metanol mezclado con agua, así el motor cumple por si sólo IMO Tier III.

Man utiliza esta técnica de diluir el metanol en agua, para cumplir IMO Tier III en sus motores de dos tiempos marinos funcionando con metanol. Estos motores necesitan una cámara de combustión muy eficiente, que genera picos altos de temperatura, y con ello, demasiados óxidos de nitrógeno, de aquí esta necesidad de mezclar el metanol con agua.

La solución para disminuir los óxidos de nitrógeno es inyectar en la cámara de combustión agua y metanol. En esta disolución, el agua tendrá una presencia entre el 25 y 40 por ciento y dado que el metanol y agua son totalmente miscibles, y una mezcla de ambos elementos es inflamable hasta un 75 por ciento de agua, así que combustionará sin problemas. De esta manera, el agua se evaporará, bajando el pico de temperatura y con ello bajará la masa de óxidos de nitrógeno producidos. Bien es cierto que para conseguir quemar esta mezcla, la llama piloto necesita algo más de potencia en comparación a un motor similar que quema gas.

Con esta solución, los óxidos de nitrógeno bajan hasta unos 2 g/kWh con una carga en el motor entre el 50% y 75%, cumpliendo sobradamente las exigencias de la norma IMO Tier III.

Si no existiera esta solución, estos motores necesitarían tecnologías alternativas como scrubbers o SCR.

2.4.2.2 Retrofit en motores de cuatro tiempos diesel (Wartsila).

Los cuatro motores que se modificaron para el uso de metanol en el ferry Stena Germanica, y hasta la publicación de este trabajo, única motorización de cuatro tiempos Diesel a metanol, corresponden a la serie ZA40S, concretamente hablamos de 8 cilindros, el motor 8ZAL40S. Proporcionan una potencia de hasta 24.000 kW.

En estos motores, que trabajan bajo ciclo Diesel en cuatro tiempos, de nuevo, las modificaciones más importantes corresponden a la inyección. En este caso, el metanol se inyecta a 600 bar mediante un sistema de common rail y unos inyectores diseñados para este uso concreto.

Al igual que el LNG, el metanol tienen un número de cetano muy bajo, y es por esto por lo que ambos necesitan un potenciador del número de cetano, y es mediante la llama piloto, alimentada con marine Diesel a unos 1300 bar. Con este iniciador a la combustión, se evita además que existan inquemados, y ninguna partícula de metanol sea expulsada a la atmósfera. Tampoco se emitirán formaldehidos, ya que no se formarán dado el alto pico de temperatura de combustión.

Estos inyectores, hacen una doble función, la de inyectar el combustible de la llama piloto y el combustible principal, metanol. Tiene cuatro toberas, cada una con su aguja, tres para la inyección de metanol, y una para la inyección del combustible para la llama piloto. Además por el interior de ellos circulan dos tipos de aceite, uno de control, que lubrica y refrigera el inyector, que trabaja a unos 350 bar de presión. El otro es aceite de sellado, que asegura que no exista contacto entre el aceite de refrigeración y lubricación del inyector.

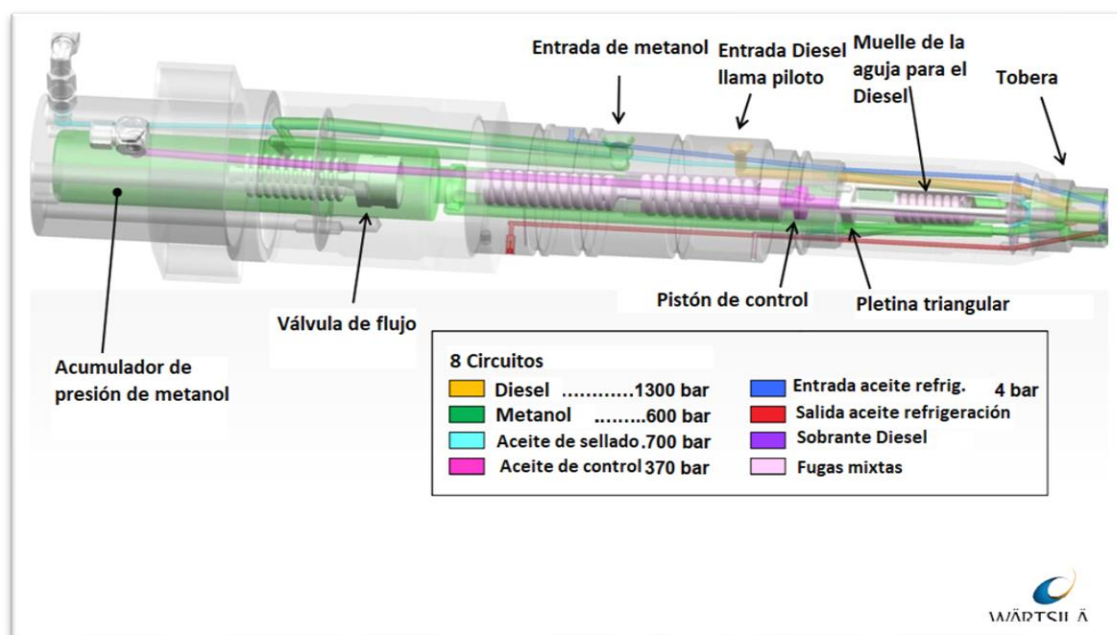


Figura 8: Inyector Wartsila metanol (Fuente Wartsila, Año 2017)

El aceite de control está monitorizado, en caso de contaminación de este con metanol, el motor abandonará el modo metanol sin pérdida alguna de potencia y sin brusquedades.

Las tuberías por donde circula el metanol, son de doble pared ventiladas con nitrógeno procedente de un generador de nitrógeno. La parte por donde circula el metanol, puede ser purgado en cualquier momento con nitrógeno.

Las válvulas de escape tienen que tener más resistencia en comparación a su uso con combustibles marinos tradicionales, por la menor existencia de partículas de aceite de lubricación en los humos en comparación al fuel. El sistema de automatización también debe ser actualizado.

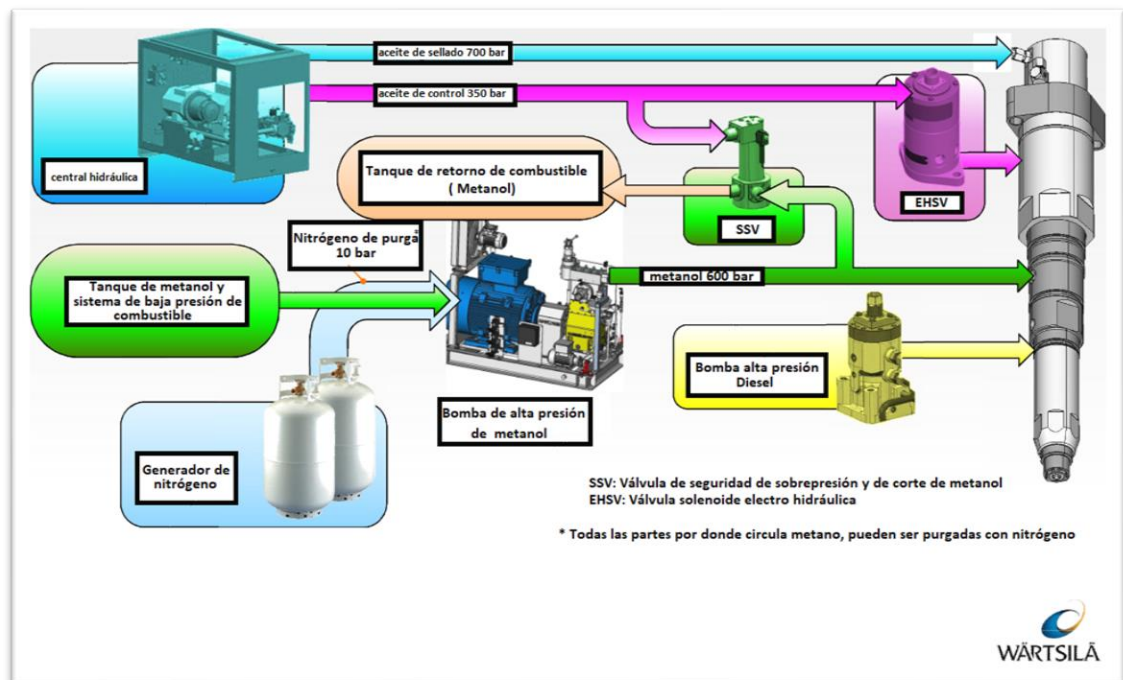


Figura 9: Sistema de metanol en motorizaciones Wartsila (Fuente Wartsila, Año 2017)

Resultados en el stena germánica obtenidos en test por Wartsila:

- NOx 3-5 g/kWh.
- CO < 1 g/kWh.
- PM llama piloto de MGO: FSN 0.1
- Sox llama piloto de MGO: reducción del 99%.
- Emisiones de formaldehído: no se detectan.
- No hay variación en la potencia con los cambios de combustible.
- Mayor eficiencia en comparación a combustibles tradicionales.

2.4.2.3 Sistema de combustión compuesta Diesel/Metanol (DMCC)

En motorizaciones bajo este sistema, hablamos de una potencias pequeñas, equiparable a la que podría llevar un camión por ejemplo. No hay ningún fabricante

de motores marinos de pequeño tamaño para su uso con metanol, tampoco existe ningún fabricante que ofrezca la posibilidad de modificar alguno de sus motores para su uso con metanol.

El State Key Laboratory of Engines, Universidad de Tianjin University, China, propuso una solución para adaptar motores a su uso con metanol, y son motores funcionando bajo un sistema de combustión compuesta Diesel/metanol (DMCC, Diesel metanol compound combustion system). Este sistema, es la solución propuesta actualmente para motorizar embarcaciones de bajas potencias. Tenemos el ejemplo de este sistema, en una lancha de práctico remotorizada, de la Administración Marítima Sueca que posteriormente se tratará.

Bajo el sistema DMCC, el metanol se inyecta a través del aire de admisión de cada cilindro, formando una mezcla aire/combustible lista para la combustión. La inyección original Diesel, se mantiene en el motor, pero ligeramente modificada para limitar la cantidad inyectada de Diesel.

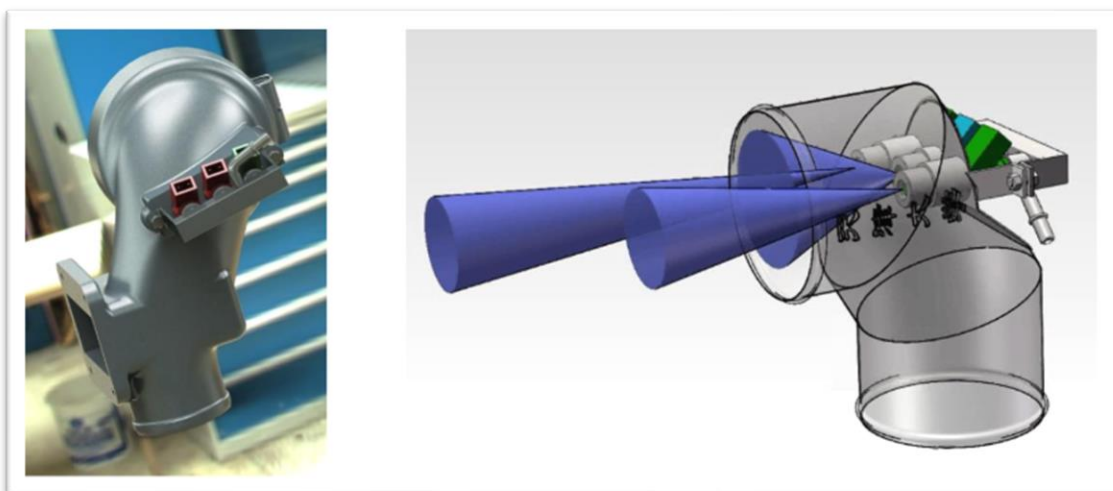


Figura 10: Inyección de metanol en sistema DMCC (Fuente Universidad de Tianjin, año 2019)

Gracias al control electrónico mediante válvulas y sensores, el motor, a bajas revoluciones funcionará con combustible Diesel, asegurando que cuando el motor aún está frío y/o a bajas revoluciones, pueda funcionar sin producir aldehídos debido a las bajas temperaturas. Con cargas medias, el motor trabaja ya con mezcla de aire y metanol como combustible principal, y con la inyección de Diesel, que en esta

condición actúa como llama piloto, siendo la proporción de estos dos combustibles de 95% metanol como combustible principal, 5% Diesel llama piloto. De ahí esta limitación puesta a la inyección, aunque en caso de necesidad, se puede operar únicamente con Diesel como combustible.

Las temperaturas alcanzadas en el modo metanol/Diesel, ya no generan aldehídos en la cámara de combustión, ni tampoco en los gases de escape. Estos motores con este sistema, cumplen todas las legislaciones en cuanto a eficiencia y contaminación atmosférica.

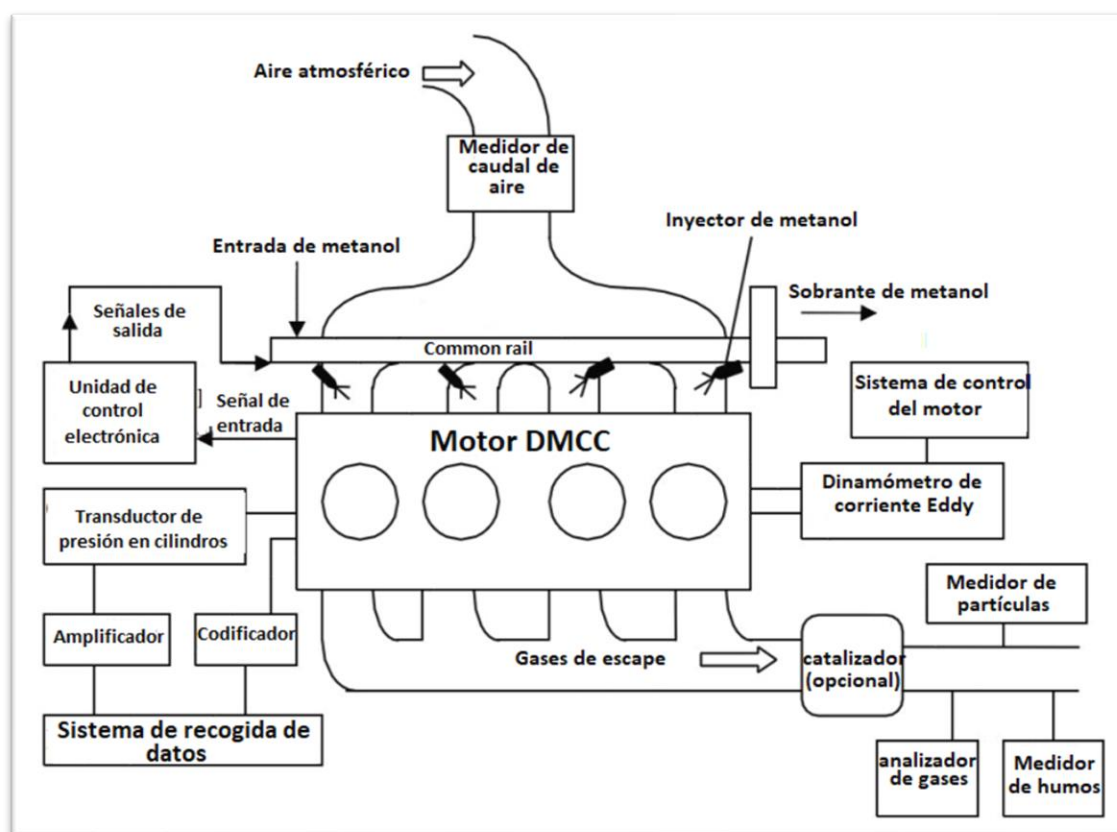


Figura 11: Esquema de funcionamiento del sistema DMCC (Fuente: Universidad Tecnológica de Chambers, año 2015)

La manera lógica de funcionar de este sistema es:

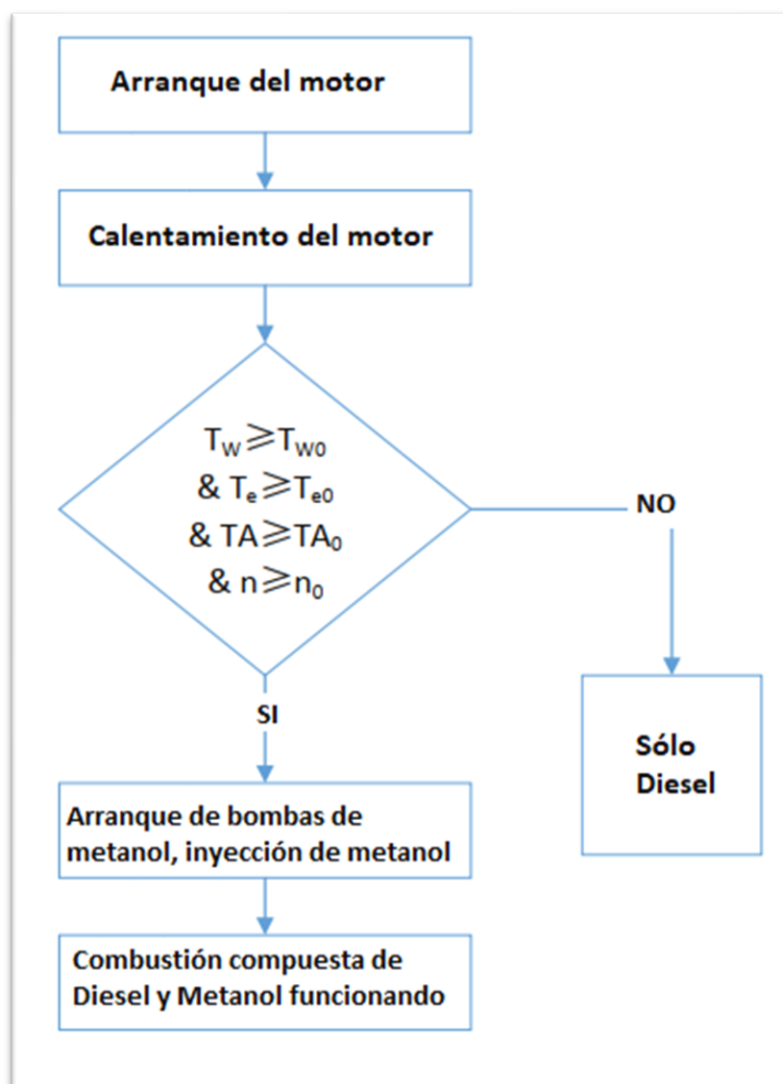


Figura 12: Lógica de funcionamiento del sistema DMCC (Fuente Universidad tecnológica de Chalmers, Año 2015)

T_w : Temperatura agua refrigeración.

T_{w0} : Temperatura mínima del agua de refrigeración cuando se está en modo metanol.

T_e : Temperatura de gases de escape.

T_{e0} : Temperatura mínima de los gases de escape cuando se está en modo metanol.

TA : Ángulo del acelerador.

TA_0 : Ángulo mínimo a una velocidad determinada con inyección de metanol.

n : Revoluciones del motor.

n_0 : Revoluciones mínimas del motor cuando está en modo metanol.

2.4.3 PILAS DE COMBUSTIBLE QUE REQUIEREN METANOL, PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA A BORDO

En los últimos años, se están desarrollando diferentes proyectos con pilas de combustible, en los que el metanol está presente como combustible. Esta tecnología aún está prácticamente dando aún sus primeros pasos en la industria, en su período de investigación y en la búsqueda de las mejores maneras de aplicarla en un futuro en la industria marina.

En estos momentos existen dos proyectos plasmados en la realidad, que a continuación se tratarán. En estos, se aprovecha dos maneras en las que, por medio de diferentes tratamientos o reacciones, el metanol se separa en otras moléculas consideradas combustibles limpios, como son el hidrógeno y el metano.

Uno de los motivos por los que es el metanol la sustancia almacenada a bordo, para su posterior reacción para producir estos otros elementos combustibles, y no son almacenados estos elementos combustibles, obtenidos tras la reacción los que se llevan a bordo, es que el metanol es mucho más fácil de tratar y transportar que el hidrógeno o que el metano.

Además estos sistemas de pilas de combustible generan bastante calor, pero como es habitual en la industria marina, incluso exigida por el índice de eficiencia energética, tienen una altísima eficiencia energética. De hecho, con pilas de combustible instaladas a bordo, se consigue un EEDI mejor.

En la actualidad, existen dos ejemplos en buques en los que están siendo utilizadas pilas de metanol.

2.4.3.1 MS Innogy

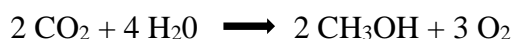
Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

Este barco es el único barco en el mundo, que dispone de pilas de combustible, en concreto siete, que lo hacen completamente autónomo y carga en su tanque almacén metanol, aunque este, no actúa como combustible, sino como sustancia que almacena el combustible de las pilas, es decir, hidrógeno.

Estas pilas, producen la electricidad consumida a bordo de manera que el barco es completamente autónomo, para todos sus servicios, y para su propulsión. De esta manera este barco turístico de pasaje, que navega por el lago Badeney y el río Ruhr, en la ciudad alemana de Essen, puede hacerlo sin emisiones a la atmósfera, además de minimizando los ruidos y vibraciones que otro tipo de motorización generaría, detalles muy importante ya que se trata de un barco turístico de pasaje.

Este buque fue construido en el año 2006, inicialmente su única propulsión era mediante un motor Diesel. Este sistema de pilas, fue implementado en agosto del 2017, gracias al trabajo conjunto de la ciudad de Essen y la empresa especialista en energías renovables Innogy. Por otra parte las pilas de metanol fueron construidas por el fabricante danés SerEnergy. Cabe destacar que Essen, ese año, fue galardonada por la Comisión Europea con el premio de capital verde Europea.

El metanol que utiliza este barco, proviene de una planta instalada en la zona donde navega, donde mediante un proceso electro bio-catalítico, se combina el dióxido de carbono atmosférico con agua, obteniendo metanol y oxígeno, bajo la siguiente reacción.



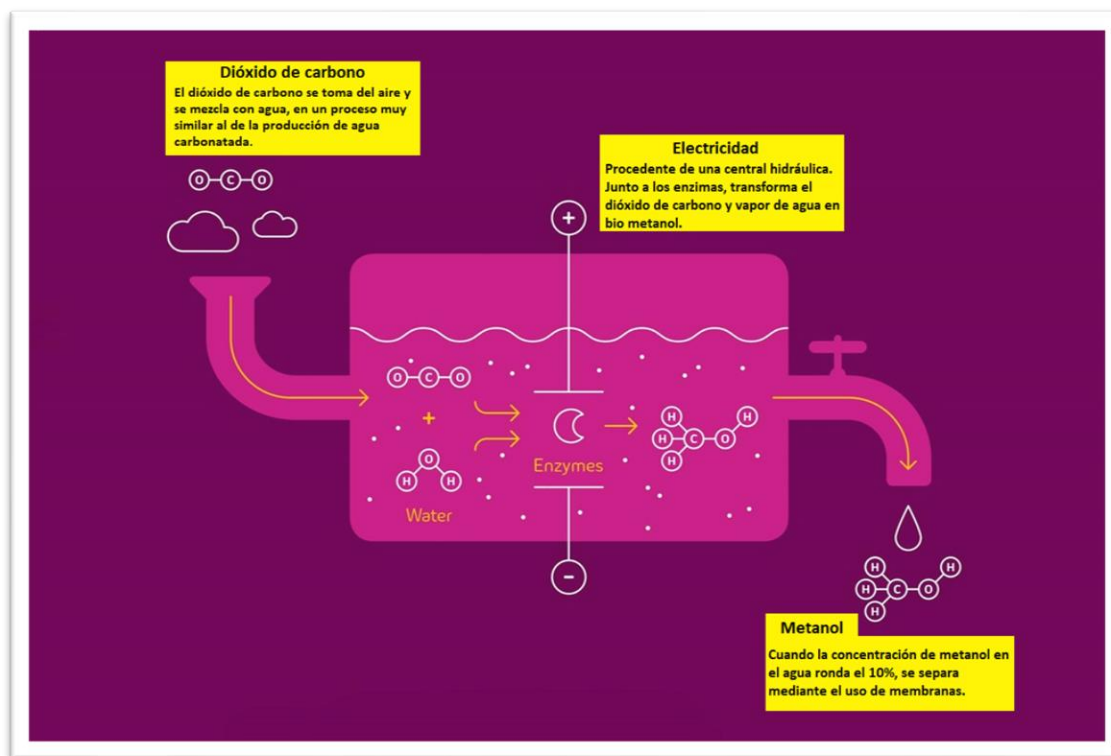


Figura 13: Proceso de obtención de metanol en Essen (Fuente Oscar Santiago, Año 2017)

Para la producción del metanol es necesario un aporte eléctrico, tanto al proceso químico, como a la planta de producción, este aporte, proviene de fuentes renovables concretamente de una central hidroeléctrica.



Figura 14: MS Innogy navegando (Fuente Weisse Flotte Baldeney, Año 2020)

Aun así, este buque puede navegar de tres maneras diferentes:

- a) Mediante los 35 kW de potencia eléctrica generada por las pilas de metanol.
- b) Con la potencia proporcionada por un motor principal Diesel.
- c) Con una combinación de ambos.

Este barco, con 330 litros de metanol, que es lo que puede cargar en su tanque almacén, dispone de energía suficiente para operar durante unas 16 horas de manera completamente autónoma en modo metanol.

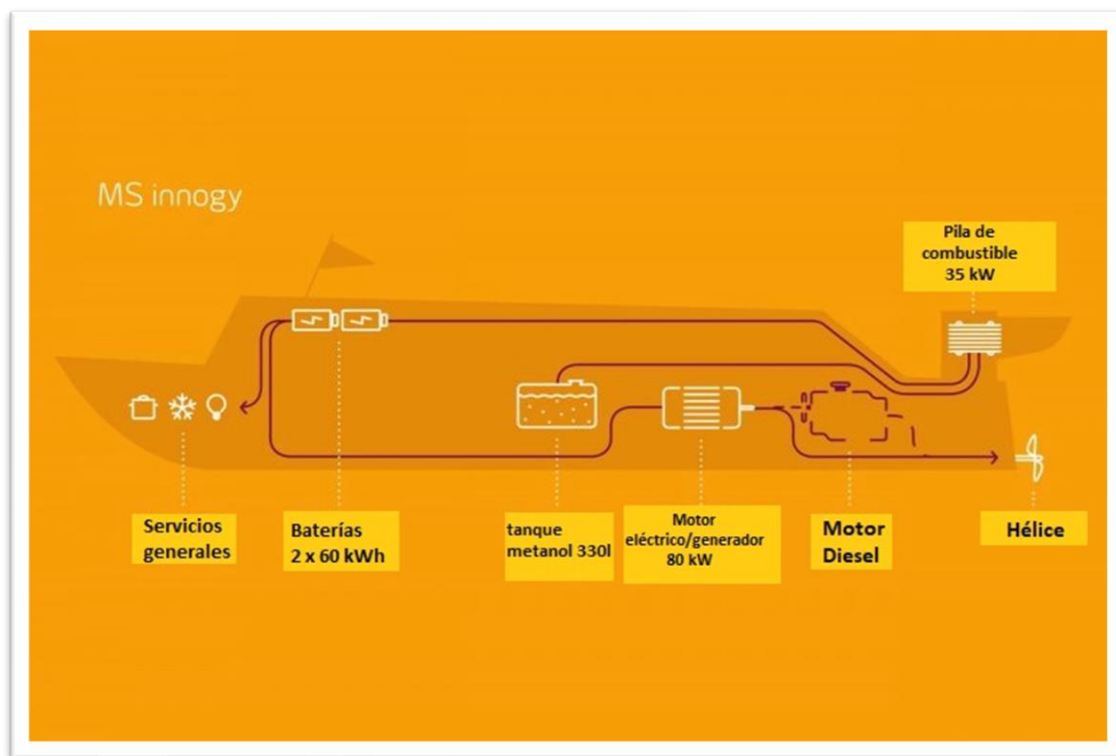


Figura 15: Esquema de potencia del buque MS Innogy (Fuente Oscar Santiago, Año 2017)

Las dos baterías eléctricas de 60 kW cada una de que dispone, se cargan mediante las siete pilas de metanol, y también pueden cargarse mediante la electricidad disponible en el puerto, que además en este caso, también proviene de fuentes renovables. Estas baterías, son las dos únicas fuentes de electricidad que pueden conectarse al motor eléctrico que ejerce de motor principal, es decir, las pilas de metanol, en ningún caso pueden conectarse a la propulsión eléctrica directamente.

Para generar energía eléctrica a bordo, el metanol sale de su tanque almacén directo hacia un reformador, donde se separa el metanol en hidrógeno y dióxido de carbono gracias al calor residual de las baterías de combustible. Este hidrógeno producido a partir del metanol, es el que consumen las siete pilas, que concretamente son pilas de combustible de membrana polimérica de alta temperatura.

El sistema puede proporcionar hasta 35 kW de potencia, luego, cada pila de combustible proporciona hasta 5kW. Podría agregarse o quitarse las pilas de combustible que se estimara en caso necesario.

El motivo por el cual se optó por este sistema, donde un combustible líquido, como es el metanol, no actúa como combustible, sino como sustancia almacén de hidrógeno, para ser usado como combustible en pilas de hidrógeno, y no el uso directo de hidrógeno, es que el hidrógeno es un elemento muchísimo más difícil de manejar que el metanol, además, tiene que almacenarse en forma de líquido a muy bajas temperaturas.

Por otra parte, las pilas de metanol existentes, es decir, aquellas a las que se les suministra directamente metanol del tanque almacén sin alteración alguna, tienen peores características generales.

Por lo que este barco, de 29 metros de eslora, que puede transportar hasta 134 personas, consigue realizar su trabajo con huella de carbono cero y sin emisión atmosférica alguna, y puede servir como punto de partida con cierto peso, para el futuro del metanol, no sólo como combustible, sino como sustancia con importantísimas connotaciones como las expuestas para su producción en la planta de Essen, que es ser un líquido muy sencillo molecularmente y portante de hidrógeno.



Figura 16: Pilas de combustible del buque MS Innogy (Fuente Oscar Santiago, Año 2017)

2.4.3.2 Buque Undine y proyecto METHAPU

Se trata de un buque ro-ro de 228 metros de eslora, de la compañía sueco noruega Wallenius Lines, dedicada al transporte de carga rodada.

En este buque, se implantó una pila de combustible de metanol diseñada por Wartsila. Tiene unas dimensiones de 4.5 metros de largo, 1.2 de ancho y 1.7 de alto. Produce una potencia eléctrica de 20kW.



Figura 17: Buque Undine (Fuente Wallenius Willhelmsen, Año 2020)

La implantación de esta pila de metanol de momento es a modo experimental. Se realizó mediante el proyecto METHAPU (Validation Methanol Based Auxiliary Power System for Commercial Vessels), llevado a cabo por Det Norske Veritas, Lloyd's Register, Universidad de Genova y Wallenius Lines, además contó con financiación de la Unión Europea, por valor de dos millones de euros.

Este proyecto se desarrolló desde el 1 de Noviembre del 2006 al 31 de Octubre del 2010) con los siguientes objetivos:

- a) Evaluar el uso de las Pilas de combustible de óxido sólido (SOFC) a bordo de los buques mercantes.
- b) Evaluar el uso del metanol como combustible marino.
- c) Impacto de la aplicación a medio y largo plazo.



Figura 18: Unidad SOFC (Fuente Wartsila, año 2020)

Los componentes que producen la electricidad en estas unidades SOFC, las pilas de metanol, básicamente consisten en un ánodo, un cátodo y un electrolito no metálico. Están formadas por 20 pilas, cada una es capaz de proporcionar hasta 1 kW de potencia eléctrica, de esta manera puede proporcionar hasta 20 kW por unidad SOFC. Además, estas unidades llevan incorporadas todo lo relativo a control, automatismos, sistema de combustible, sistema de aire, etc...Es decir, para su funcionamiento, son totalmente autónomas del resto del buque.

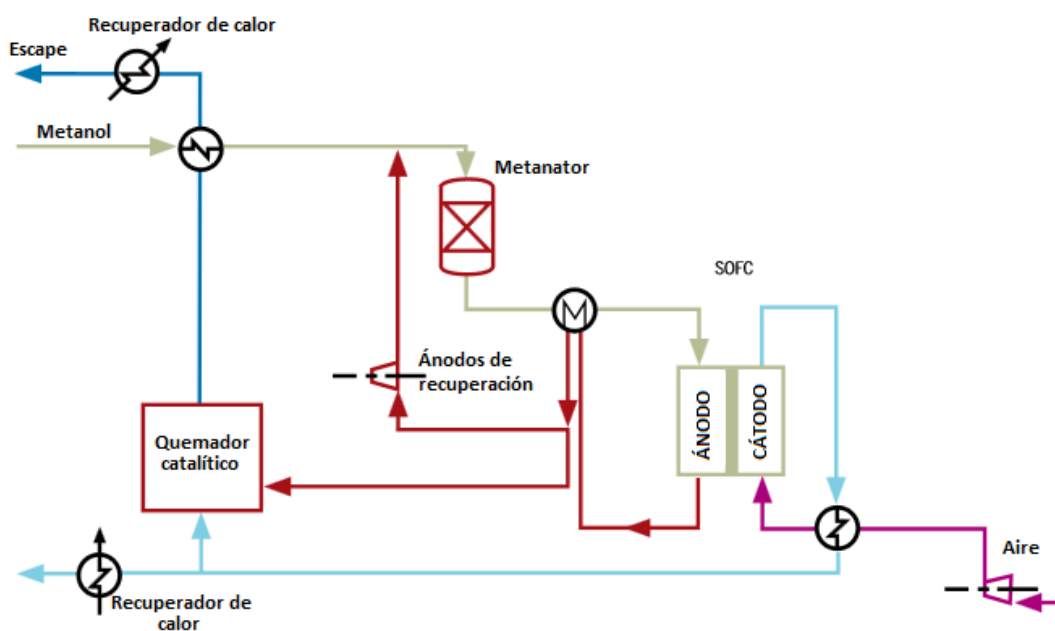


Figura 19: Funcionamiento SOFC (Fuente METHAPU, Año 2020)

Tienen una eficiencia eléctrica del 40%, y una eficiencia general del 80%. Las emisiones que produce son vapor de agua y dióxido de carbono. También emiten monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, pero en unas cantidades prácticamente nulas. Tienen una temperatura de trabajo bastante alta, de unos 700 a 800 °C.

Para su funcionamiento, el metanol, previo paso por un intercambiador de calor donde se calienta, va a un generador de metano, donde el metanol se separa en hidrógeno y metano, y después a cada una de las 20 pilas, de nuevo el metanol actúa de portador de moléculas de combustible cuyo manejo y almacenamiento, serían mucho más complicadas. Una vez en las pilas se produce la energía eléctrica. El calor residual del proceso, se aprovecha para el proceso químico de separación de las moléculas de metanol, y en otros procesos.

Hay momentos en que puede haber un exceso de combustible, entonces el sistema lo quema, y de esta manera no se emitirá metano a la atmósfera, gas muy nocivo para la capa de ozono del planeta. Este calor, también se aprovecha para ayudar a mantener la temperatura de trabajo de las pilas. También se aprovecha para producir agua y

para el sistema de aire acondicionado del buque. De esta manera se consigue un alto rendimiento de estas unidades.

Estas unidades no tienen vibraciones y tampoco emiten ruidos, salvo los que pudieran producir las bombas o ventiladores que lleva, los cuales, no son en absoluto significativos.

La instalación de estas unidades, podría hacerse sin ningún problema, con el buque en ruta y donde fuera preciso. Vienen en su propio container ya preparadas para inyectar energía eléctrica en el buque. La única instalación previa que necesitan, es un tanque almacén de metanol con su sistema de combustible. Respecto a los aspectos técnicos requeridos, seguridad y localización en el buque, Lloyd's Register ya tiene en cuenta estas unidades de Wartsila.

2.4.4 BUNKERING DE METANOL

Los aspectos de seguridad en cuanto al bunkering de metanol, pueden variar en función de cada sociedad de clasificación, pero en general:

Estación de bunkering: Deberá tener la suficiente ventilación natural, además de estar separada de otras áreas con mamparos estancos para gas, como excepción, estos mamparos no son obligatorios por lo general, cuando están en la zona de carga de quimiqueros. Cuando están cerradas o semi cerradas, estas estaciones, estarán sujetas a normas de ventilación de espacios cerrados.

Se debe de tener bajo las conexiones de bunkering bandejas para recoger posibles pérdidas como es habitual con los combustibles tradicionales.

En el control de bunkering estará en un lugar seguro, se tendrán monitorizados los tanques, con alarmas para prevenir reboses y un paro de emergencia que se pueda accionar desde este espacio.

Sistema de bunkering: En cada línea de carga, debe de haber una válvula manual que pare la operación de carga, además de las suficientes válvulas de control remoto en estas mismas líneas. Estas, estarán lo más cerca posible a tierra.

Las tuberías de carga deben de ser auto purgantes y podrán ser inertizadas con gas. La conexión a la manguera de tierra debe llevar cierre automático

Almacenamiento del metanol a bordo: Un ejemplo del sistema de combustible puede ser este:

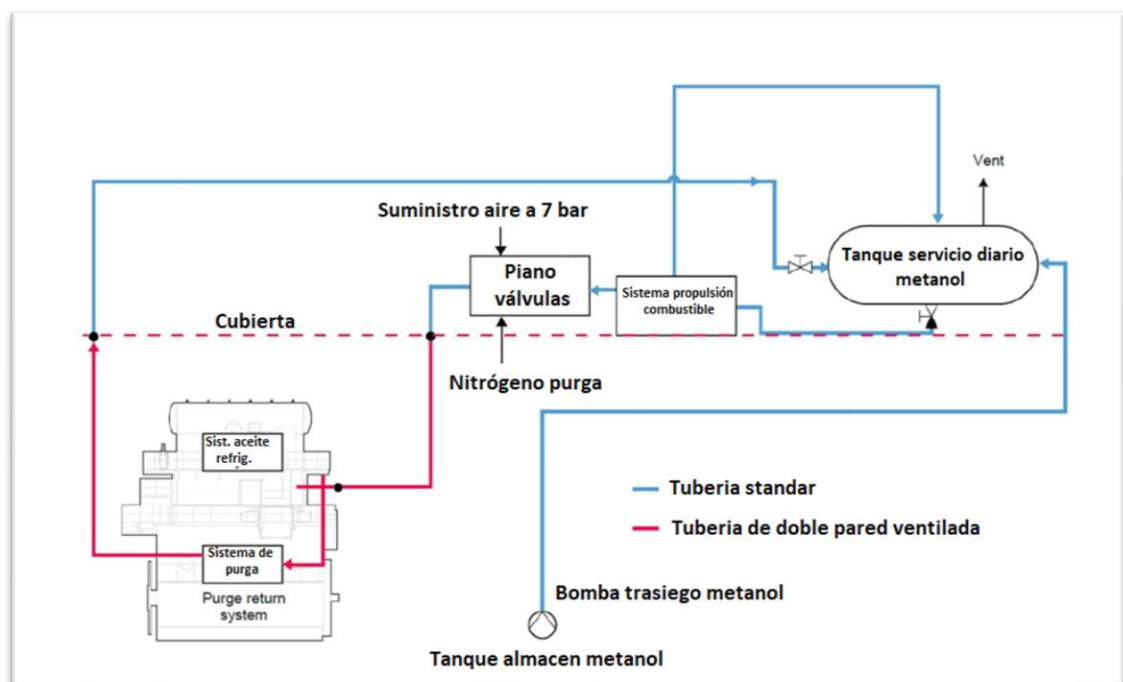


Figura 20: Ejemplo de sistema de combustible (Fuente DNV GL, Año 2017)

En el vemos un tanque almacén y otro de servicio diario situado en cubierta. De acuerdo con la normativa de DNV GL, tenemos:

Situación de los tanques:

- No se podrá almacenar en espacios de máquinas ni en espacios de habitación. La distancia mínima entre el tanque y el casco del barco debe ser al menos de 760 mm.
- Los mamparos de colisión, tanto a proa como a popa, no podrán ser parte de los tanques.

- c) Debe de haber dos tanques de servicio diario, para cada tipo de combustible usado a bordo para la propulsión o cualquier otro servicio esencial. Además, cada tanque tendrá la capacidad suficiente para que el buque funcione normalmente durante al menos 8 horas, suponiendo que la propulsión está siendo con metanol durante este mínimo de 8 horas.

Además, al igual que cuando se manejan otros combustibles a bordo, el sistema estará monitorizado, dispondrá de los suficientes elementos de control para hacer una carga segura, como alarmas de nivel, paros automáticos, control de la ventilación y control continuo sobre los detectores de gas.

Todas las medidas deben girar en torno a una carga segura, pero en este caso, cobra especial importancia el evitar el contacto del personal con el metanol ya que:

- El metanol ingerido, en contacto con la piel o inhalado es muy tóxico.
- Si se ingiere en cantidades de 10 mililitros o más, el cuerpo humano lo metaboliza como ácido fórmico, que es sumamente venenoso para el sistema nervioso, causando ceguera permanente ya que destruye el nervio óptico, o llevar a un coma, incluso la muerte.
- Ingerir 25 mililitros de metanol, puede llevar a la muerte, aunque la dosis letal, se considera 90 mililitros.
- Estos efectos tóxicos, tardan horas en producirse, y existen antídotos muy efectivos, que normalmente evitan los daños permanentes en el cuerpo humano.

2.4.4.1 Tanques de metanol.

Los tanques en los que se almacena el metanol, deben estar permanentemente inertizados, libres de cualquier atmósfera explosiva. Además, aquellos tanques que no estén en contacto de una manera u otra, con una cubierta expuesta al exterior, deben de tener como mínimo, dos entradas y salidas de ventilación preparadas para su uso con gas inerte. Además todos dispondrán de válvulas de seguridad, tanto para sobre presión como vacío.

La descarga de estas válvulas debe estar situadas en una cubierta abierta a la intemperie, y ubicadas de manera que se puedan comprobar cuando sea requerido. Además, la descarga, estará situada a una altura sobre la cubierta, como mínimo de 1.5 metros, y preparadas para soportar las inclemencias del mar y del tiempo. Además, estos alivios, deben estar conectados a la parte más alta del tanque de carga. Por otra parte, deben de ser auto purgantes con gas inerte, en cualquier condición de mar y trimado del buque.

El sistema de ventilación de los tanques debe ser siempre redundante, y además, estar monitorizado continuamente por el sistema de seguridad que tenga implementado el buque.

Cuando un vapor de metanol, debido a sobre presión en el tanque, sea descargado, la presión diferencial, entre la existente en el tanque de carga y la atmosférica, no debe exceder la presión de vapor de la designada para el tanque de carga.

En el caso de que un tanque de carga, esté situado sobre una cubierta exterior, estos estarán preparados para soportar posibles daños mecánicos además de lo suficientemente aislados térmicamente. Se debe de minimizar en esa cubierta, la posibilidad de que se pudiera iniciar un fuego, eliminando de su alrededor cualquier motivo o maquinaria que pudiera ser susceptible de iniciarlo.

Existe la posibilidad de almacenar metanol en tanques del doble fondo, ya que el metanol, no tiene consideración como elemento muy dañino para el medio ambiente por razones ya dadas en este trabajo.

2.4.4.2 Manejo del metanol en espacios de máquinas.

El manejo del metanol desde los tanques almacén hasta los motores, es más complejo que con combustibles tradicionales por diversas razones, como pueden ser su alta toxicidad, alta volatibilidad, inflamabilidad, etc...

Por esto, se requerirá el uso de tuberías de doble pared, ventiladas continuamente con aire por el interior de la parte más externa de la doble pared, además, este aire está

continuamente monitorizado por detectores de fugas, que en caso de que se activen, cortan inmediatamente el suministro de metanol, para que el combustible que actúa como llama piloto sea el único combustible. Los dos grandes fabricantes de motores de gran potencia, garantizan este cambio sin brusquedades ni pérdida de potencia.

También habrá los suficientes detectores de derrames o escapes. Además, en caso necesario, se podrá inertizar determinadas partes del sistema o aislarlas. Estas son algunas de las razones que hacen más complicado de manejar el metanol.

En este apartado se tratarán los siguientes aspectos en cuanto al manejo del metanol en espacios de máquinas:

- a) Aspectos de carácter general.
- b) Protección del sistema de bombeo.
- c) Válvulas.
- d) Bombas de combustible.
- e) Control de temperatura.

2.4.4.2.1 Aspectos de carácter general

- Las tuberías por las cuales circula metanol, deben de estar completamente separado de otros sistemas de tuberías.
- Además las tuberías por donde circule metanol, al igual que los tanques de metanol, deben estar separadas del casco del buque un mínimo de 760 milímetros.
- El sistema de metanol, en buques en los que este es el combustible principal, debe de ser redundante, es decir, al menos podrá llegar al interior de los cilindros desde los tanques de carga, por dos caminos diferentes. Además, estos, deben estar lo suficientemente segregados, para que en caso de averías o derrames en alguno de ellos, se pueda cambiar de un sistema a otro, siempre sin pérdida de potencia significativa.

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

- Todas las tuberías por donde circule metanol, podrán inertizarse cuando sea necesario.
- La presión de diseño de este sistema será la presión máxima que el sistema pueda requerir.
- Se debe de instalar bandejas para recoger derrames en cualquier punto donde se estime que pudiera ocurrir.

2.4.4.2.2 Protección del sistema de bombeo.

- Las tuberías por donde circula metanol, estarán preparadas para soportar daños mecánicos.
- Cuando estas atraviesen espacios cerrados, estarán a su vez, dentro de otras que garanticen la estanqueidad de gases.
- Se evitará que las tuberías pasen por zonas de acomodación, controles de máquinas, etc...
- Las tuberías, siempre serán de doble pared, la interior para el metanol, y la tubería exterior es por donde circula continuamente aire para detectar cualquier vapor de metanol o pérdida de este.

2.4.4.2.3 Válvulas

- Las entradas y salidas de los tanques almacén, tendrán válvulas operadas en remoto, para cerrar el paso de metanol cuando sea considerado necesario.
- Siempre que una válvula de combustible, tenga un acceso difícil, tiene que poder controlarse de manera remota.
- Todas las válvulas de combustible de la sala de máquinas, podrán ser manejadas mediante el programa de control de la instalación de máquinas.
- La válvula de cierre de emergencia, nunca podrá estar en la sala de máquinas.
- Cada consumidor de metanol, tiene que tener su propia válvula de cierre de emergencia.

- Todas ellas tienen que tener indicador claro y sencillo para que el operario sepa sin ninguna duda si están abiertas o cerradas.

2.4.4.2.4 Bombas de combustible.

- Los cuartos de bombas, siempre estarán fuera del espacio de máquinas, completamente estancos a otros espacios que pudiera haber alrededor y con la suficiente ventilación.
- Las bombas sumergidas en los tanques almacén de metanol, serán hidráulicas y protegidas con una doble barrera que evite el contacto del sistema hidráulico con el metanol.
- Estos espacios exclusivos para bombas de metanol, deben tener un sistema de sentinas único para ellos. Los residuos que se recojan en estas sentinas, tendrán su propio tanque de almacenamiento.

2.4.4.2.5 Control de temperatura.

El control de la temperatura del metanol, se hará en todo momento con un sistema de refrigeración secundario e independiente de los existentes a bordo. Además, cada rama del circuito, que vaya hacia un consumidor u otro de metanol, tiene que ser perfectamente aislable del resto sin que esto ponga en dificultades al propio sistema.

El tanque de expansión para este sistema, tendrá su detector de gases, alarma de bajo y muy bajo nivel. Además podrá ser venteado al exterior.

2.4.5 DETECCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

Los incendios de metanol, son incendios atípicos si los comparamos con un incendio de cualquiera de los combustibles tradicionales, por varias razones:

- a) Tiene una baja temperatura de llama, producen menos calor.

- b) Las llamas que se producen sobre el metanol, a luz del día son prácticamente invisibles y apenas producen humo.
- c) El límite de inflamabilidad del metanol es amplio, desde el 6% al 36% de volumen en el aire.
- d) El metanol es miscible en agua, una mezcla con el 75% de agua, es inflamable.

Dadas estas características tan particulares, la detección de incendios tiene también sus particularidades. Se hacen necesarios detectores para controlar las concentraciones de vapor en los tanques, así como detectores de posibles puntos calientes.

Además, para la respuesta ante un fuego, el metanol, al tener una baja temperatura de llama, se reduce notablemente la radiación térmica. Lo que permite a la brigada contraincendios, acercarse más al incendio. Pero esto también hace que sea más difícil determinar la ubicación exacta del incendio y su intensidad real. Por ello se debe de contar con cámaras termográficas que den información de manera inmediata en caso de necesidad.

A la hora de atacar un fuego de metanol:

Se debe usar espuma compatible con el alcohol resistente a altas temperaturas, como espuma de fluoro proteína, que formará una espuma resistente al alcohol (AR-FFF), está formará una barrera sobre el metanol, que bloquee el paso de vapores. Además evitará el contacto del oxígeno con el metanol y enfriará las superficies, actuando de agente enfriador.

También se podrá utilizar agua, pero siempre en forma de neblina o rociado de gotas finas. Pero hay que tener en cuenta, que en el tanque, debe de haber un volumen libre de al menos 4 veces el volumen del metanol, dado que hasta soluciones del 75% con agua, la mezcla sigue siendo inflamable. Es decir, se puede utilizar agua para apagar estos incendios, pero de una manera inteligente.

En cuanto a los equipos de protección individual de las brigadas contra incendios, se debe de tener en cuenta la alta toxicidad del metanol, por esto, los trajes de bomberos convencionales no son válidos, será necesario un traje resistente a los productos

químicos de nivel B, para evitar la absorción del metanol en la piel. Además deberán estar siempre provistos de equipos de respiración autónoma sea cual sea la magnitud del incendio.

2.4.6 PROTECCIÓN INDIVIDUAL ANTE EL METANOL.

Ante la presencia de metanol a bordo, puede presentarse la exposición a este por parte del trabajador tanto por inhalación, absorción por la piel, contacto con los ojos o ingestión.

Como mínimo, se debe de llevar gafas de protección integrales, que protejan a todo el ojo. Además de guantes apropiados.

En cuanto a la protección del sistema respiratorio, podemos establecer tres rangos en función de la concentración del metanol en el aire.

- Menor de 200 ppm: No se requiere protección respiratoria, aunque probablemente si para los ojos y la piel.
- 200 ppm o algo mayor: Será necesario proteger el sistema respiratorio con un sistema de suministro de aire, si se excede la exposición de promedio de ponderación en el tiempo (TWA) diaria.
- Mayor de 200 ppm sostenido: Se debe usar un sistema de suministro de aire de presión positiva.

En cuanto a la ropa, será necesario el uso de botas de caucho, guantes resistentes, ropa impermeable y resistente, hechos con materiales resistentes a productos químicos si se va a tener un contacto prolongado con el metanol en la piel. Estos materiales pueden ser caucho butílico o el caucho de nitrilo.

La electricidad estática es un enemigo muy a tener en cuenta cuando hablamos de trabajar con metanol, ya que esta, puede iniciar un fuego. Se debe de tener mucho cuidado con los aislamientos y con las tomas de tierra.

Se prohibirá de manera tajante fumar, se mantendrá una ventilación exhaustiva en las zonas de trabajo donde pudiera haber concentración de metanol. Salas de control,

carga, etc...siempre han de tener presión positiva, linternas y otros aparatos electrónicos, deberán estar lo suficientemente protegidos, etc...

2.4.7 METANOL DESDE UNA PERSPECTIVA ECONÓMICA

El retorno del dinero invertido en una re motorización a metanol de un buque dependerá de la variación de los precios del metanol con otros combustibles, además de otras inversiones que pudieran tener que llevarse a cabo por consumir uno de estos dos combustibles.

En el caso de buques que navegan por zonas ECA, la comparación suele establecerse entre el metanol y marine gas oil. Tanto en cuanto a precios de estos combustibles, como en la instalación que es necesaria implementar a bordo o no.

A veces también se utiliza la comparación entre el metanol y buques quemando fuel oil, con torres de lavado de gases de escape instaladas. Las torres de lavado necesitan una buena inversión de capital, pero luego permiten al buque navegar con fuel oil, mucho más barato que el metanol.

Otra posible comparación, es con el gas natural. Estas motorizaciones, conllevan una elevadísima inversión, aunque a lo largo de estos años, el gas natural ha llegado incluso a ser, en algunos momentos, más barato que el fuel oil.

En este punto se analizarán tres aspectos económicos

- a) Inversión de capital en el buque y motorización
- b) Inversión en infraestructura de almacenamiento y transporte de combustible
- c) Costes de combustible

2.4.7.1 Inversión de capital en el buque y motorización:

Modificar un buque para que su motorización pase a ser dual fuel metanol/Diesel, aproximadamente tiene un coste de 250-350 euros por kW, para potencias entre 10 y 25 MW. En comparación al LNG, es cuatro veces más barato.

El coste de la instalación de tanques de combustible dependerá del tipo de buque, por ejemplo, en el caso de un ferry se puede instalar tanques de metanol en los tanques de lastre, minimizando el espacio robado para la carga. Los tanques almacén de metanol, se pintan con silicato de zinc.

El costo de un buque nuevo propulsado por metanol, es bastante parecido a un barco similar propulsado por fuel oil. Por ejemplo, dado que el metanol es un combustible limpio, fácilmente bombeado a temperatura ambiente, se evitará calderas y depuradoras para el combustible principal, lo cual es un ahorro enorme.

En cuanto al tiempo de estancia en astillero de un buque que se va a transformar para el uso del metanol, tenemos el ejemplo del Stena Germánica. El tiempo empleado fue dos semanas. Esto fue debido a que una vez los tanques de combustible y el sistema de combustible estuvieron preparados, el resto de modificaciones se pueden hacer fuera de astillero.

Para un buque, que tenga dos motores de 10 MW, de nueva construcción, los costes estimados aproximadamente son:

- Precio por motor: 825.000 euros
- Precio horas de trabajo personal: 300.000 euros
- Modificación sistema combustible: 600.000 euros
- Tanques de combustible: 500.000 euros
- Sistemas de tuberías, etc...: 500.000 euros

Si agregamos otros costes, como la estancia en astillero, estas cifras son las que corresponderían con un gasto de 270 euros por kW.

2.4.7.2 Inversión en infraestructura de almacenamiento y transporte de combustible

El mercado mundial del metanol, depende del transporte trans oceánico por vía marítima, ya que este, se produce en unas partes del mundo, y los grandes consumidores están en otras zonas geográficas. Hasta el 80 por ciento de la producción mundial de metanol, se mueve de un punto a otro de la tierra mediante buques. Es un producto de sobra conocido en la industria marina.

Las infraestructuras de metanol, desde el punto de vista de la industria marina, se componen de:

- a) Instalaciones para la distribución y almacenamiento en grandes terminales.
- b) Transporte a terminales más pequeñas.
- c) Instalaciones de bunkering en los puertos.

Las instalaciones para la distribución y el almacenamiento de metanol, son dos puntos que están sobradamente desarrollados en el mundo, no representa ningún reto a nivel global. En cambio, en lo relativo a la existencia de medios para dar metanol como combustible a buques, en estos momentos, representa una dificultad, pero no es un problema con difícil solución, ni desde el punto de vista tecnológico ni desde el punto de vista económico.

El costo de una pequeña estación de bunkering en un puerto, se estima en unos 400.000 euros. El precio de una estación en un puerto, con capacidad para 20.000 metros cúbicos, que pueda recibir metanol de buques y darlo a otros como combustible, se estima en 5.000.000 de euros. Modificar una gabarra ya existente, para que pueda dar servicio de bunkering de metanol, se estima que ronda los 1.500.000 euros.

2.4.7.3 Coste del combustible

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

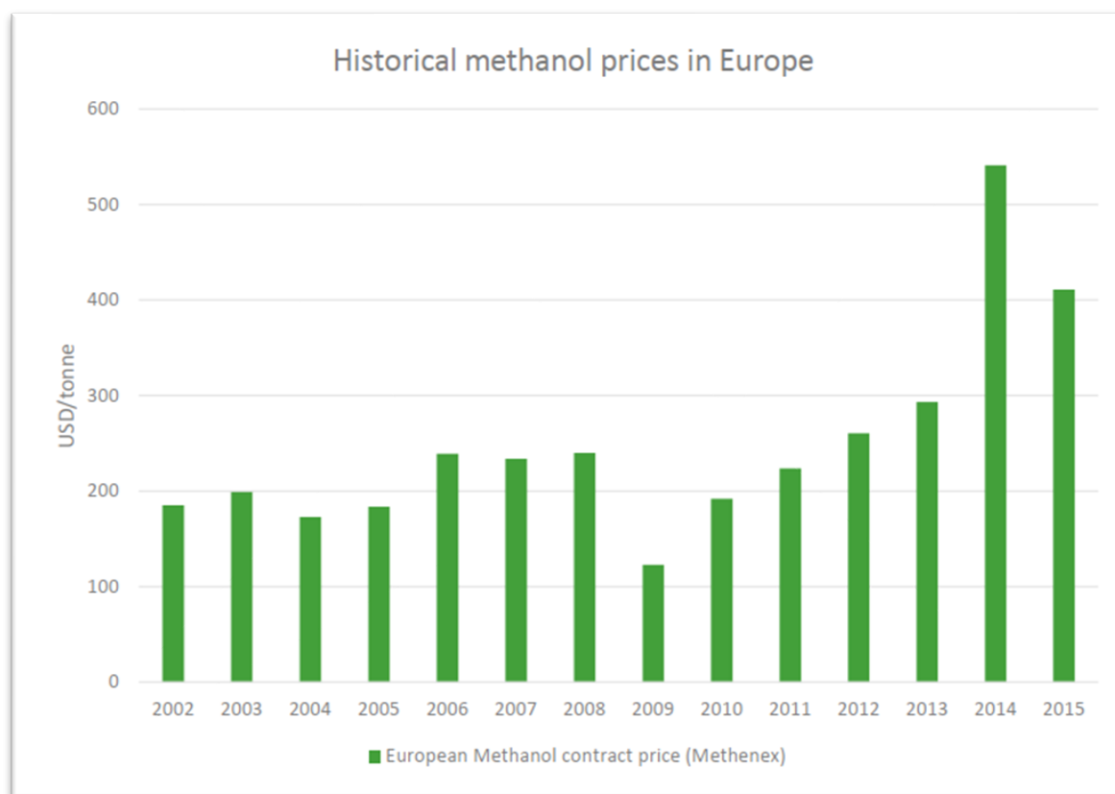


Figura 21: Evolución de los precios del metanol en Europa (Fuente DNV GL, Año 2015)

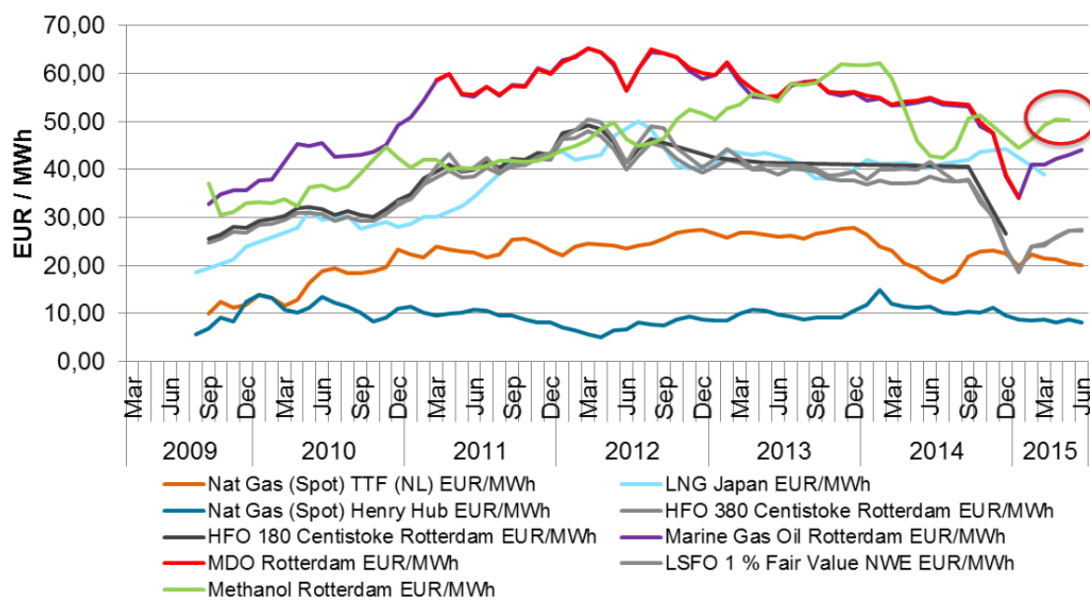


Figura 22: Evolución de los precios de diferentes combustibles (Fuente Stena Lines, Año 2015)

2.4.8 PERSPECTIVA GENERAL DE DIFERENTES MOTORIZACIONES SUSCEPTIBLES DE CUMPLIR LAS NORMATIVAS DE CONTAMINACIÓN Y EFICIENCIA SOMETIDAS A ESTUDIO

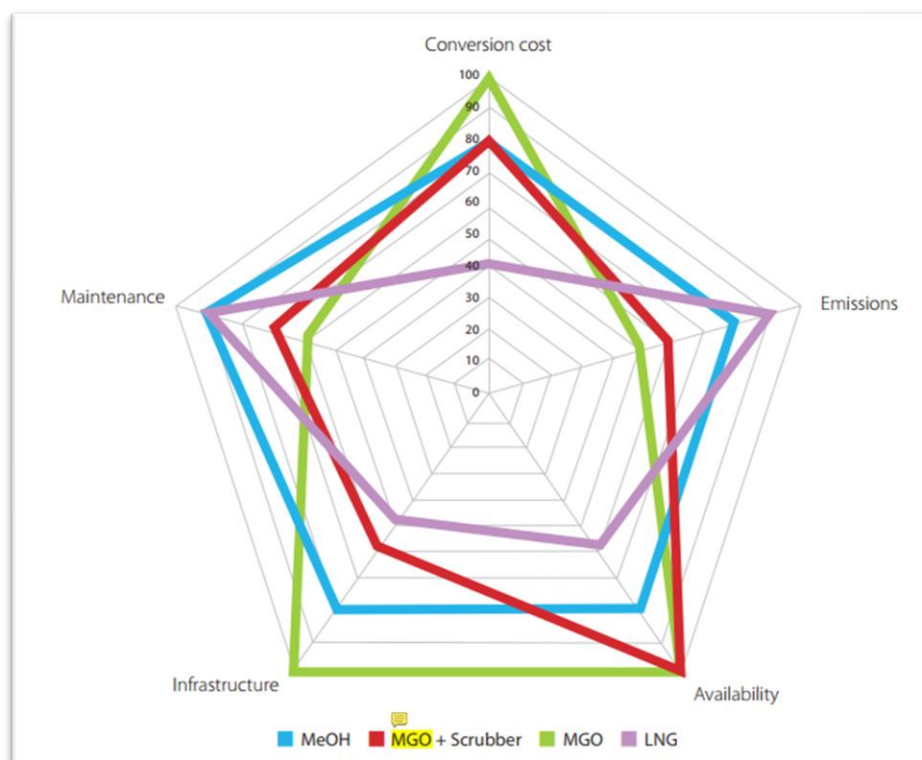


Figura 23: Comparativa de diferentes combustibles marinos (Fuente FCBI Energy, Año 2015)

3 Aplicación práctica

A continuación se enumeran los ejemplos actuales de buques que se encuentran navegando mediante el uso de metanol como combustible principal en sus motores.

3.1 COMPAÑÍA NYK

Esta compañía japonesa, es la décima compañía a nivel mundial por volumen de contenedores y segunda por peso en graneles sólidos. Dispone de 784 buques entre

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

buques porta contenedores, bulk carriers, car carriers, quimiqueros, gaseros y buques multi porpose.

Entre su flota tenemos el buque Takaroa Sun, dedicado al transporte de sustancias químicas, entre ellas metanol, es propulsado por un motor dual de dos tiempos que permite el uso de metanol y combustible marino tradicional.

Con este buque, en comparación a si fuera propulsado con fuel como combustible, la compañía estima que han reducido las emisiones de:

- Óxidos de azufre: 75%
- Óxidos de nitrógeno : 45%
- Dióxido de carbono: 8%

Además señala como aspecto muy positivo, además de estas reducciones de gases dañinos, el poder usar este buque como banco de pruebas para conseguir otras adaptaciones futuras, como el uso de dimetil eter, bio etanol u otros combustibles con bajo punto de inflamación.



Figura 24: Takaroa Sun (Fuente NYK, Año 2020)

El peso muerto de este buque quimiquero es de 49.000 tpm, con una eslora total de 183 metros y 32.2 metros de manga. Fue construido en el año 2019 en el astillero Hyundai Mipo Dockyard.

3.2 COMPAÑÍA STENA LINE

La compañía sueca dispone del primer ferry que usa el metanol para su propulsión, además de ser el único buque de gran tamaño que usa el metanol en un ciclo Diesel de cuatro tiempos, es el Stena Germánica, anteriormente conocido como Stena Hollándica. Se trata del segundo ferry con más eslora del mundo y cubre la ruta entre Goteborg y Kiel, que se encuentra en zona ECA, y por tanto, la emisión de azufre en los humos de escape no puede superar el 0.1% además de la correspondiente limitación de óxidos de nitrógeno por la norma IMO Tier III.

Este proyecto, que tuvo un coste de 22 millones de euros, cofinanciado por la Unión Europea por medio de las ayudas del programa Autopistas del Mar, comenzó en el año 2015 con la re motorización del buque, en los astilleros Remontowa en Gdansk, Polonia.



Figura 25: Stena Germánica (Fuente Stena Lines, año 2019)

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

Este proyecto de transformación, ha tenido un coste de 22 millones de euros. En el también han colaborado las autoridades portuarias de Goteborg y Kiel, además del mayor proveedor de metanol mundial, Methanex.

Es importante destacar, que Stena declaró que aunque la propulsión mediante LNG está más extendida, y que aunque las emisiones del metanol y LNG son muy similares, el motivo por el cual se decantaron por el metanol fue que las infraestructuras necesarias para el metanol son más baratas y sencillas, además de que su manipulación es también más sencilla.

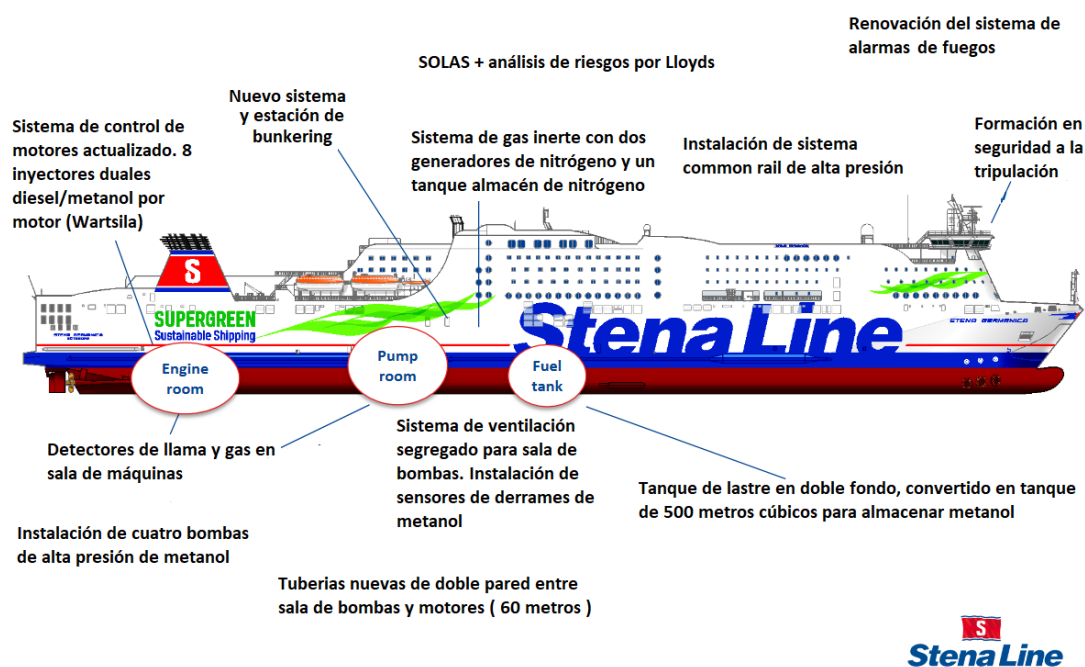


Figura 26: Modificación del Stena Germánica (Fuente Stena Lines, Año 2019)

Esta transformación del Stena Germánica, ha tenido numerosos reconocimientos internacionales, tanto por su apuesta por la innovación, como en reconocimiento a la sostenibilidad medio ambiental que representa:

- a) Swedish Maritime Day: “Premio innovación”, (2015).
- b) Green Ship Technology: “Armador del año” (2015).
- c) Confederación de empresas de transportes suecas: “ Premio Pegaso” (2015).
- d) Premio de excelencia empresarial global, Reino Unido: “premio a la iniciativa verde” (2015).
- e) Shippax Awards: “Eco award” (2015).
- f) European Marine Engineering Conference Awards: “Buque del año” (2016)

Además, ha sido finalista de otros premios otorgados por The Economist’s, Seatrade awards, Fathom Ship Efficiency Awards o Lloyds.

Pero la apuesta por el metanol de Stena, no se limita únicamente a este ferry pionero. La división de graneleros de Stena, recibirá a principios del año 2022 dos bulk carriers de 49.900 DWT propulsados por metanol. Estos dos buques, serán contruidos en los astilleros Guangzhou Shipyard International (GSI) en China.

Estos graneleros, estarán equipados con motores duales de cuatro tiempos Wartsila, al igual que el ferry Stena Germanica, lo cual parece que va a representar una gran innovación en este campo.

3.3 COMPAÑÍA WATERFRONT SHIPPING COMPANY

Naviera dedicada al transporte de productos derivados del petróleo y otras sustancias químicas.

En el año 2019, le fueron entregados 4 buques propulsados con metanol, todos motorizados con motores de dos tiempos duales MAN. Estos cuatro buques, se sumaron a los siete que los que la compañía disponía también operando con metanol.

Dos de estos, son los buques Mari Jone y Mari Boyle, entregados en el año 2016, son los dos primeros buques de carga seca transoceánicos propulsados mediante metanol.

Según la compañía, hasta finales del año 2019, los 11 buques propulsados con metanol, han registrado un consumo específico ligeramente mejor cuando navegan a metanol (aproximadamente un 2%).

Los once buques bulk carriers que usan metanol como combustible, están motorizados con motores duales de dos tiempos. Cuando navegan a metanol, cumplen rigurosamente la norma IMO Tier III, mediante una llama piloto de aproximadamente el 5% y mezclando el metanol con agua.

Según los estudios de la compañía, a partir de su experiencia en sus buques propulsados con metanol, han conseguido reducir, respecto a sus buques propulsados mediante fuel oil, un 34% los óxidos de nitrógeno, un 85% los óxidos de azufre, y un 86% las partículas sólidas. Es decir, en una hora, en comparación al fuel oil, se dejan de emitir a la atmósfera:

- a) 83 kilogramos de óxidos de nitrógeno
- b) 47 kilogramos de óxidos de azufre
- c) 6 kilogramos de partículas sólidas

3.4 ADMINISTRACIÓN MARÍTIMA SUECA

La Administración Marítima Sueca, re convirtió una lancha de práctico que hasta el momento tenía una propulsión Diesel, a un sistema combinado de Diesel y metanol pionero. Se trata de una lancha de 12.6 metros de eslora y 20 GT.

Tras un importante accidente, la lancha se mandó a un astillero, se desecharon los dos motores principales (Cummins) y jets de que constaba la propulsión, y se instalaron dos motores principales que usan metanol como combustible principal, y Diesel como apoyo, con dos hélices en vez de dos jets.

Se consiguió modificando la parte de la inyección de los nuevos motores (Volvo Penta), bajo el sistema DMCC, (Diesel/methanol compound combustión system) ya descrito en este trabajo.

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

De esta manera la potencia original, 526 kW a 2500 rpm con un consumo específico de 214 g/kWh de cada motor; quedó en 588 kW a 2300 rpm con un consumo específico de 195 g/kWh de cada nuevo motor, cumpliendo con requisitos IMO Tier III y alcanzando una velocidad de hasta 32 nudos.

En cuanto a su peso, aumentó en 2000 kilogramos, hubo que agregar dos tanques nuevos para el metanol. Las tuberías por las que circula el metanol son de doble pared. También fue necesario instalar un sistema de gas inerte, mediante dos botellas de 20 litros de nitrógeno en la cubierta principal unidas, mediante tuberías a los dos tanques de metanol. De esta manera, mediante los sensores y mecanismos pertinentes, se mantiene el metanol dentro de los tanques en una atmósfera inerte, con una presión 0.15 bar por encima de la atmosférica. En caso de sobre presión en los tanques, tiene un sistema de alivio de presión que descarga por la popa de la lancha. También tiene sensores que monitorizan los vapores en la atmósfera de los tanques de metanol.



Figura 27: Lancha de práctico motorizada bajo sistema DMCC (Fuente Universidad Tecnológica de Chalmers, Año 2015)

3.5 ASTILLEROS JIANG LONG

Este astillero chino tiene una gabarra de 40 metros de eslora y 172 GT a modo de banco de pruebas. Está motorizada de una manera análoga a la lancha de prácticos de la Administración Marítima Sueca, el sistema DMCC.



Figura 28: Gabarra en astilleros Jiang Long (Fuente Astilleros Jiang Long, Año 2020)

4 Conclusiones

Conocidas las actuales y futuras normativas referentes a contaminación y eficiencia energética, además de la mentalidad colectiva de un progreso ético y respetuoso con el planeta, se hace necesaria la evolución en la manera de conseguir energía a bordo

de los buques, tanto para la propulsión, como para las necesidades eléctricas, mucho más respetuosa con el medio, sin perder en ningún momento la eficiencia.

Además, aunque la producción de metanol a partir del gas natural, tiene una mayor emisión de gases de efecto invernadero en su ciclo de vida, que la que emiten los combustibles marinos tradicionales, mediante el desarrollo del bio metanol, se puede bajar estas emisiones hasta donde la ciencia nos permita.

En cambio, en su ciclo de vida, el metanol, en lo que respecta a los óxidos de nitrógeno y de azufre, se puede llegar a reducir hasta un 45 por ciento en comparación a los combustibles marinos tradicionales.

Por ello se presenta un combustible que es compatible con esta nueva realidad que rodea a la industria naval, el metanol. Este alcohol, se presenta como fuente de energía directa, mediante su combustión, o como una fuente de energía indirecta, es decir, como sustancia química relativamente sencilla, que actúa como fuente de hidrógeno, para su uso en pilas de combustible.

Esta última función, es de hecho una opción sumamente interesante para la industria mundial, mayor incluso que el interés que también tiene como energía directa. Las empresas, los gobiernos, la Unión Europea... están realizando un importante esfuerzo de investigación, desarrollo y financiación de numerosos proyectos en este sentido.

Los ejemplos presentados, son un buen ejemplo de que el metanol tiene futuro como combustible en la industria marina.

El método utilizado para la elaboración del trabajo ha sido el siguiente

-Lectura y síntesis de material bibliográfico.

-Lectura y síntesis de material web.

5 Referencias bibliográficas

5.1 SITIOS WEB

- Organización Marítima Internacional: <https://www.imo.org/> [Consultada en Noviembre de 2020].
- Wartsila: <https://www.wartsila.com> [Consultada en diciembre de 2020].
- Stena: www.stenaline.se [Consultada en diciembre de 2020].
- Ecu Red: <https://www.ecured.cu/Biometanol> [Consultada en diciembre de 2020].
- Methanol Institute: <https://www.methanol.org/> [Consultada en diciembre de 2020].
- Boletín Oficial del Estado: <https://www.boe.es> [Consultada en diciembre de 2020].
- Irena.org [Consultada en enero de 2020].

5.2 ARTÍCULOS

1. Andersson K, Salazar CM. *Methanol as a marine fuel report*. FCBI Energy. 2015; <http://www.methanol.org/wp-content/uploads/2018/03/FCBI-Methanol-Marine-Fuel-Report-Final-English.pdf>
2. Lewenhaupt E. *Methanol as an alternative fuel in shipping Stena Line at a glance*. Marit Clust Nord. 2017; https://brintbranchen.dk/wp-content/uploads/2017/10/Erik-Lewenhaupt_Stenaline.pdf
3. Fanuel J, Salgado MF. *Producción, transporte y exportación de metanol*. Respsol YPF. 2003. <http://biblioteca.iapg.org.ar/ArchivosAdjuntos/Petrotecnia/2003-2/Produccion.pdf>
4. IMO. *Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility* International Maritime Organization (IMO). 2016; <http://www.methanol.org/wp-content/uploads/2016/07/IMO-Methanol-Marine-Fuel-21.01.2016.pdf>
5. Haraldson L. *Methanol as a marine fuel*. Cimac Norw. 2015;(Enero):1–26.

6. Sahnen D. Methanol as a marine fuel: The shipyard perspective. Nav Archit. 2019;2019(January):32–5. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2018/11/MI-Platts-Bunkering-Storage-Asia-2018-FINAL.pdf>
7. Seminar C. Wärtsilä Gas Engine Development & Methanol Adaptation. 2015; https://www.classnk.or.jp/classnk-rd/assets/pdf/V_Wartsila_Gas_Engine_Development_Methanol_Adaptation.pdf
8. Ramadhas AS. *Future fuels*. Altern Fuels Transp. 2016;393–418. http://www.effship.com/PublicPresentations/Final_Seminar_2013-03-21/03_EffShip-Future_Fuels-Lennart_Haraldsson_Wartsila.pdf
9. Dimitris Argyros, Carlo Raucci, Nagore Sabio, Tristan Smith. *Global Marine Fuel Trends*. Lloyd's Regist. 2014; <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/global-marine-fuel-trends-2030>

5.3 REVISTAS

1. Leiva Bautista C. (2011). La utilización del metanol como biocombustible. Revista Realidad y Reflexión, nº 31, 9-30.

5.4 MANUALES

1. *Manual de manipulación segura del metanol* Enero , 2013. 2013;
2. MAN Diesel & Turbo. *Using Methanol Fuel in the MAN B&W ME-LGI Series*. 2014;1–16. <https://www.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/using-methanol-fuel-in-the-man-b-w-me-lgi-series.pdf>
3. METANOL. *Guía para el manejo de Metanol*. :293–308.: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia19.pdf>

5.5 TESIS

1. Huang Y. *Conversion of a Pilot Boat to Operation on Methanol*. 2015;
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/232457/232457.pdf>
2. Cieza Guevara T, Ugaz Olano K. *Proyecto De Prefactibilidad De Producción De Metanol a Partir Del Gas Natural*. 2018;110.

5.6 NORMATIVA

- Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación de los Buques, Convenio MARPOL, edición de 2010.
- Third IMO GHG Study, 2014.
- Directiva (UE) 2016/802 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de mayo de 2016 relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos.

6 Anexos

A continuación se presenta una descripción de incidentes presentado por Methanol Institute en el año 2013.

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Biodiesel	Staten Island, NY	2/6/2001	Rectificación en tanque de glicerina en Environmental Alternatives	http://www.rebelwolf.com/essn/ESSN-Jul2005.pdf
Biodiesel	Bakersfield, CA	16/2/2002	Caja de MeOH inflamada por electricidad, incendio	http://biodieselmagazine.com/articles/830/fire-destroys-american-biofuels-facility-in-bakersfield-calif
Biodiesel	Parker, CO	6/5/2002	Fabricante de biodiesel casero se dejó el elemento calefactor en el tanque	http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5545a3.htm
Biodiesel	Canby, OR	22/6/2002	Inflamación del derrame y tanques de MeOH de plástico fundidos	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	New Plymouth, ID	6/7/2002	Explosión debida a chispas de soldadura	http://www.fox12idaho.com/Global/story.asp?S=5162251&nav=menu439_2
Biodiesel	Dayton, TX	13/7/2003	Derrame e inflamación de MeOH	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Augusta, GA	20/8/2003	Soldadura encima de un tanque	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Lenoir, NC	24/8/2003	Tanques destruidos después de una parada	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Princess Ann, MD	17/5/2004	Soldadura	Informe técnico de seguridad de biodiesel

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Biodiesel	Decatur, TN	14/8/2004	Desconocida	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	York, ND	26/8/2004	Desconocida	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Gasden, AL	14/9/2004	Elemento calefactor defectuoso de equipos de biodiesel	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Clinton, IA	29/9/2004	Pequeño incendio en columna principal de recuperación de biodiesel	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Houston, TX	8/2/2005	Rotura del sello mecánico de la bomba de circulación	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Brewster, MN	23/5/2005	Desconocida	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Toledo, OH	14/6/2005	Inflamación de biodiesel debido a válvula de seguridad de control de vacío defectuosa	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Chicago, IL	18/7/2005	Mezcla de glicerina y ácido sulfúrico, Columbus Food Co.	http://www.chitowndailynews.org/Chicago_news/OSHA_launches_investigation_at_plant_that_exploded,30103
Biodiesel	St. Cloud, FL	23/9/2005	Desconocida, posiblemente rayo	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Savannah, GA	14/10/2005	Reactor usado para almacenar biodiesel	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Hoquiam, WA	1/12/2005	Exceso de presión en el tanque de glicerina	Informe técnico de seguridad de biodiesel

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Biodiesel	Spanish Fork, UT	24/7/2006	Rotura de la tubería de transferencia del MeOH	Informe técnico de seguridad de biodiesel
Biodiesel	Melbourne, Australia	5/10/2006	Soldadura encima de un tanque	http://www.heraldsun.com.au/news/victoria/man-critical-after-factory-explosion/story-e6frf7kx-1225934873475
Biodiesel	Summitville, TN	29/7/2007	Chispas de motor en tanque de metanol	http://www.wkrm.com/story/15181803/bio-diesel-plant-destroyed-in-fire?clienttype=printable
Comercial	Seattle, WA	20/7/2006	Inflamación intencionada sobre un barril de MeOH	http://www.komonews.com/news/local/98960929.html
Hogar	Belleville, MO	12/4/2002	Incendio de juguete con combustible de MeOH	http://www.evesun.com/printedition/pdfs/2007-09-19.pdf
Hogar	Brisbane, Australia	18/6/2003	Jugando con MeOH y fuego, explosión	Eos Environmental
Hogar	Syracuse, NY	18/9/2003	Incendio de mezcla de MeOH, retorno al combustible	Eos Environmental
Hogar	Troy, OH	13/2/2007	Desconocida-150 galones de MeOH para automóviles de carreras en garaje	http://www.whiotv.com/news/26854632/detail.html
Industrial	Sydney, Australia	11/7/1994	Entre los productos químicos se encontraban etanol, metanol y esencias blancas – desconocida	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?tab=e=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Industrial	Southbridge, MA	13/12/1994	Incendio de metanol en una planta especializada en fibra óptica, desconocida	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?tab=e=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Industrial	Green River, WY	28/1/1999	Desconocida, incendio instantáneo en pozo	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?tab=e=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Industrial	Buffalo, NY	12/10/2000	Mezcla de acetónitrilo y metanol derramada en una compañía de fabricación de artículos médicos	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?tab=e=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Industrial	Sydney, Australia	1/5/2001	Desconocida, horno de gas con metanol	http://ctif-hazmat.gasilci.org/modules/news/article.php?storyid=36
Industrial	Angarsk, Rusia	23/10/2001	Desestabilización de proceso en Angarsk Petrochemical	http://www.icas.com/Articles/2005/10/24/1015565/russias-angarsk-methanol-plant-hit-by-explosion.html
Industrial	Songmaping Town, China	9/11/2001	Desconocida	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?tab=e=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Industrial	Kuala Lumpur, Malasia	27/2/2002	Explosión de un tanque de MeOH durante el mantenimiento	Eos Environmental
Industrial	Cleveland, OH	19/4/2002	Chispas de trabajo en caliente en pasarela sobre tanque de MeOH causó una explosión	Eos Environmental

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Industrial	Quebec, Canadá	29/8/2002	Desconocida, chispa causó una explosión, incendio	Eos Environmental
Industrial	Kuala Lumpur, Malasia	26/8/2003	Desconocida; planta de metanol Petronas	http://www.koreanpress.net/news/view.asp?msection=1&ssection=2&idx=598
Industrial	Defiance, OH	3/1/2004	Inflamación de vapores de MeOH en almacén debido al abrepuestas del garaje	Eos Environmental
Industrial	Kandla, India	7/2/2004	Desconocida; incendio de tanque de metanol apagado con agua de mar	Eos Environmental
Industrial	North County, CA	2/10/2004	Desconocida; incendio de pequeña cantidad de metanol en un horno en una instalación de equipos de diagnóstico médicos	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Industrial	Lafayette, LA	14/6/2005	Soldadura en tanque de plataforma marina de extracción de petróleo de Mariner Energy	http://blog.chron.com/newswatchenergy/2010/09/mariner-involved-in-13-gulf-accidents-since-06-seven-with-violations/
Industrial	Longview, NC	23/1/2006	Tailored Chemicals – origen desconocido – almacena MeOH y etanol	http://firenews.net/index.php/news/news_article/20100126_news_four_alarm_fire_at_local_catawba_plant/

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Industrial	Kuala Lumpur, Malasia	21/2/2006	Desconocida; planta de metanol Petronas	http://uk.reuters.com/article/2010/02/22/petronas-fire-idUKSGE61L0E520100222
Industrial	Belle, WV	20/9/2006	Fugas de equipos	http://www.newsandsentinel.com/page/content.detail/id/118720/W-Va-DEP-investigates-methanol-spill-in-river.html?isap=1&nav=5071
Industrial	Erie, PA	13/10/2006	Vapores de metanol inflamados y llamaradas de una chimenea de descarga en un taller de fundición	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Industrial	Sterling, CO	2/2/2007	Uso de un soplete para quitar pernos de un taque de agua y metanol	http://www.journal-advocate.com/sterling-local_news/ci_17283330
Industrial	New Iberia, LA	13/6/2007	Desconocida, planta de múltiples productos químicos con MeOH, xileno, tolueno	http://www.nola.com/business/index.ssf/2011/06/firefighting_crews_enter_new_i.html
Industrial	Bernay, Francia	4/7/2007	Causa desconocida para tanque de disolvente de metanol en Ceisa Packaging	http://www.saunalahti.fi/ility/P11127.htm
Industrial	Pearland, TX	17/7/2007	Desconocida; tanques con metanol y aceite mineral	http://www.yourhoustonnews.com/pearland/news/article_c2b4f932-615c-5066-92d5-56efd0921d0b.html

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Tubería	Jal, N.M.	6/12/1996	Rotura y estallido de tubería de gas natural con llamas, inflamando los dos tanques llenos de metanol y glicol en una refinería de gasolina	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Tubería	Prudhoe Bay, AK	6/2/2001	Corrosión de tubería de inyección DS 11, falta de aislamiento	http://www.dec.state.ak.us/spar/perp/response/sum_fy05/050217301/050217301_index.htm
Tubería	Deadhorse, AK	14/10/2003	Perforación de tubería D de DS-16	http://www.dec.state.ak.us/spar/perp/response/sum_fy08/071015301/071015301_index.htm
Tubería	Lisburne, Alaska	15/7/2007	Rotura de tubería de BP durante prueba de presión de válvula para el mantenimiento	http://www.msnbc.msn.com/id/43795063/ns/us_news-environment/t/methanol-spill-reported-bp-alaska-oil-field/
Escuela	Akron, OH	24/1/2002	Inflamación de vapores de MeOH	http://www.ohio.com/news/students-burned-in-lab-fire-settle-1.87719
Escuela	Huntsville, TN	7/10/2003	La demostración de MeOH produjo la explosión de la probeta, incendio	Eos Environmental
Escuela	Hudson, OH	17/1/2004	Experimento de Química en una escuela, incendio	Eos Environmental
Transporte	Kiel, WI	16/1/1996	Derrame después de un descarrilamiento de vagón cisterna con vuelco	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Transporte	Toledo, OH	14/3/1997	Pequeña cantidad de fugas de metanol en la playa de ferrocarril de un vagón cisterna	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Hoganas, Suecia	11/10/1997	Encallamiento de un barco de 3000 toneladas de MeOH en niebla espesa	http://info.tse.fi/dagob/documents/Dangerous%20Goods%20Related%20Incidents%20and%20Accidents%20in%20the%20Baltic%20Sea%20Region%20PDF%20final.pdf
Transporte	Vercelli, Italia	21/8/1998	Tren de mercancías que contiene metanol descarrilado, roto y quemado	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Ontario, Canadá	12/2/1999	Vagones de mercancías que transportan metanol gaseoso y estireno, descarrilado y con fugas	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Livorno, Italia	21/3/1999	Colisión de barco con el muelle mientras se remolca	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Red Wing, Mn	4/4/1999	Descarrilamiento de tren con metanol	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Uberaba, Brasil	12/6/1999	Descarrilamiento de un tren en un río e inflamación resultante en un incendio grande Fugas de metanol en el río	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List

Estudio sobre la situación actual del metanol como combustible en la industria marina

Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Transporte	Jiangshan City, China	12/7/1999	Colisión con un camión cargado con carbón y un tren que transporta metanol	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Edmonton, Canadá	7/10/2001	Camión de cisterna haciendo un giro de 180 grados y perforación de un tanque, fugas de metanol	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Schwerte, Alemania	21/10/2001	Tres vagones cisterna de metanol descarrilados	http://info.tse.fi/dagob/documents/Dangerous%20Goods%20Related%20Incidents%20and%20Accidents%20in%20the%20Baltic%20Sea%20Region%20PDF%20final.pdf
Transporte	Shenyang, China	26/1/2002	Camión de metanol incendiado después de que el conductor calentara una válvula congelada en un almacén	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Butler Township, MI	29/7/2002	Chispa formada cuando un trabajador estaba echando metanol que produjo una explosión	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Jingjiang City, China	14/8/2002	Desconocida; incendio de dos barcasas cargadas con metanol	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Devon, África	8/10/2002	Colisión de automóvil con camión de metanol	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List


Sector	Ubicación	Fecha	Descripción del incidente	Referencia o fuente
Transporte	Johannesburg, Sudáfrica	9/10/2002	Incendio causado por una colisión de camión cisterna de MeOH con un vehículo	Eos Environmental
Transporte	Albany, NY	4/1/2003	Incendio de vagón de ferrocarril con MeOH de CSX	Eos Environmental
Transporte	Wuhan, China	1/9/2003	Desconocida; incendio propagado por cuatro recipientes con metanol en un muelle	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Bloomfield Hills, MI	26/12/2003	Vuelco de un camión cisterna de metanol que causó un derrame pequeño	http://www.fireworld.com/incident_logs/incident_log2.php?table=incidents&cmd=search&mode=normal&month=08&year=2011&submit=List
Transporte	Stamford, CT	11/11/2005	Incendio de un camión cisterna debido a un funcionamiento defectuoso de un neumático.	http://www.local830.org/index.cfm?zone=/unionactive/view_article.cfm&HomeID=144049&page=200920Incident20Archive
Transporte	Stamford, CT	12/6/2007	Vuelco de camión cisterna con 8.000 galones de MeOH	http://www.wtnh.com/dpp/news/fairfield_cty/tanker-carrying-methanol-closes-i-95-northbound-in-stamford
Transporte	Beijing-Xinjiang, China	3/7/2007	Colisión de camión con camión de MeOH de 30 toneladas	http://www.globaltimes.cn/NEWS/tabid/99/articleType/ArticleView/articleId/664422/2-truckers-killed-in-fiery-crash.aspx

Finalmente, se presenta la ficha internacional de seguridad química del metanol

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL

ICSC: 0057

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.	RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo monóxido de carbono y formaldehído. Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al plomo y al aluminio.	EFFECTOS DE EXPOSICION CORTA La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, dando lugar a una pérdida del conocimiento. La exposición por ingestión puede producir ceguera y sordera. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 200 ppm; 262 mg/m ³ (piel) (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 250 ppm; 328 mg/m ³ (piel) (ACGIH 1993-1994).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.
	PROPIEDADES FISICAS	
	Punto de ebullición: 65 °C Punto de fusión: -94 °C Densidad relativa (agua = 1): 0.79 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20 °C: 12.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1.01 Punto de inflamación: (c.c.) 12 °C Temperatura de autoignición: 385 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6-35.6 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.82/-0.66
DATOS AMBIENTALES	 La sustancia presenta una baja toxicidad para los organismos acuáticos y terrestres.	
NOTAS		
EXPLOSION/PREVENION: Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-36 Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		

Aviso de responsabilidad UC

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros.

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros de Tribunal de Trabajos Fin de Máster, así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este trabajo.

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster, así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.